München 1968

Rheographische Untersuchungen

im Sauerstoffmangel

und in der

Unterdruckkammer

Maria Müller 1968

Aus dem Institut für die Prophylaxe der
Kreislaufkrankheiten der Universität München

Direktor: Prof. Dr. G. Schimert

Rheographische Untersuchungen im Sauerstoffmangel und in der Unterdruckkammer

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Maria Müller
aus Leipzig

1968

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München.

Referent: Professor Dr. G. Schimert

Korreferent: Priv.Doz. Dr. H. W. Kirchhoff

Dekan: Professor Dr. F. Holle

Tag der mündlichen Prüfung: 2. April 1968

Für die Überlassung des Themas möchte ich Herrn Prof. Schimert am Institut für die Prophylaxe der Kreislaufkrankheiten danken.
Herrn Generalarzt Dr. Lauschner und Herrn Privatdozent Dr. Kirchhoff möchte ich für die freundliche Unterstützung und für die Bereitstellung der Geräte und der Unterdruckkammer danken.

Rheographische Untersuchungen im Sauerstoffmangel und in der Unterdruckkammer

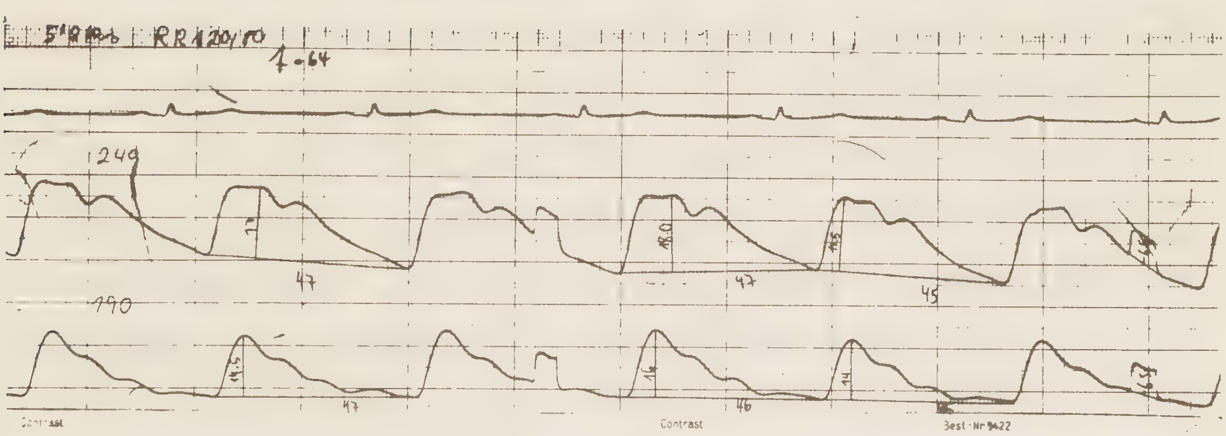
I. Einleitung

In der medizinischen Universitätsklinik zu Wien wurde die Rheographie von HOLZER, POLZER und MARKO (1946) als ein Untersuchungsverfahren entwickelt, das Aussagen über die periphere Durchblutung und damit über die Beschaffenheit des Gefäßsystems zuläßt. Dieses Verfahren ermöglicht es, Störungen im arteriellen Gefäßsystem frühzeitig zu erkennen. Man nahm an, daß diese Methode anderen gegenüber an Aussagekraft überlegen sei. Die Rheographie hat sich heute in der klinischen Funktionsdiagnostik peripherer Durchblutungsstörungen einen festen Platz gesichert. Gerade in jüngster Zeit mißt man durch die Fortschritte der Gefäßchirurgie der Rheographie wieder mehr Bedeutung zu. Die plastischen Operationen verlangen nicht nur eine genaue Beurteilung der Gefäße der gesamten Extremität und peripher des Operationsgebietes, sondern auch eine regelmäßige Kontrolle. FOCHEM und PÄRTAN (1966) ziehen daher auch zu diesen postoperativen Untersuchungen die Rheographie wegen ihrer Gefahrlosigkeit und Einfachheit in der Handhabung heran. Bei dem heutigen Ansteigen peripherer Gefäßerkrankungen erwies es sich doch als notwendig, periphere Durchblutungsstörungen so früh als möglich zu erfassen.

Das Ziel dieser Arbeit soll es sein, festzustellen, ob die Rheographie in Verbindung mit Sauerstoffmangel eine Methode ist, frühzeitiger periphere Durchblutungsstörungen zu erkennen, zu einem Zeitpunkt also, da die bisherigen klinischen Untersuchungsverfahren noch auf keinen pathologischen Prozeß hinweisen. Bei dieser Fragestellung wurde von den Ergebnissen ausgegangen, die bei den elektrokardiographischen Messungen im Sauerstoffmangel erzielt wurden. DIETRICH und SCHWIEGK (1933), LEVY und BRUENN (1938)

und WILLIAMS (1940) beschrieben bestimmte EKG-Veränderungen im Sinne einer koronaren Minderdurchblutung durch eine Sauerstoffmangelprovokation. Die gestellte Aufgabe besteht nun darin, das Verhalten der peripheren Durchblutung bei definiertem Sauerstoffmangel zu untersuchen und zu prüfen, ob Sauerstoffmangel die rheographischen Meßergebnisse beeinflußt. Daß Sauerstoffmangel Veränderungen der peripheren Durchblutung hervorruft, wurde bereits von BROEMSER (1938) und ABRAMSON (1953) beschrieben. Beide Autoren fanden, daß durch Sauerstoffmangel eine Reizung des Vasomotorenzentrums, damit also eine Sympathicusreizung und dadurch eine Vasodilatation auftritt. Auf Grund dieser Vasodilatation erwartet man eine Verbesserung der allgemeinen peripheren Durchblutung.
Rheographische Messungen lassen sich mit Hilfe einer Wheatstoneschen Brückenschaltung, eines Regelwiderstandes und speziellen Elektroden grundsätzlich an jedem Körperabschnitt durchführen. Dabei unterscheidet man die sogenannte Quer- und Längsrheographie. Die Querrheographie wird vor allem zur Diagnostik der Lokalisation von Gefäßverschlüssen angewandt. Auf diese Weise kann die Pulsation an einer genau festgelegten Stelle über dem Gefäßabschnitt erfaßt werden. Das Längsrheogramm dient dagegen in erster Linie zur Beurteilung der Gefäßqualität, zur Objektivierung der Wirkung von gefäßwirksamen Medikamenten und zum Nachweis kollateraler Kreisläufe (KAINDL, POLZER, SCHUHFRIED 1959). Mit der Längsrheographie können beispielsweise die hämodynamischen Verhältnisse im Thorax analysiert werden

(sog. thoracales Rheogramm), während die Leberrheographie einen Einblick in die Funktion der kleinen Leberarterien gibt (KOECKE 1957). So zeigen sich beispielsweise bei Hepatitiden, Zirrhosen, Verschlußikterus und Stauungsleber charakteristische Veränderungen. Die Druckrheographie gibt Aufschluß über die Lokalisation eines Gefäßverschlusses (KAINDL, POLZER, SCHUHFRIED 1959). Die Schädelrheographie ermöglicht den Nachweis pathologischer Gefäßprozesse im Gehirn, sowie degenerativer Gefäßveränderungen durch Stoffwechselstörungen und Thromboembolien. Die Rheographie erwies sich darüber hinaus als wertvolles Hilfsmittel zur Diagnose des subduralen Hämatoms (LENKER 1959).
Abb. 1 demonstriert das Rheogramm des linken Ringfingers und der linken unteren Extremität eines gesunden Probanden



Finger R_Q = 1,2 = 100 %
R_Q = 0,81 = 67 %
R_Q = 1,15 = 96 %

Bein R_Q = 0,94 = 100 %
R_Q = 0,78 = 83 %
R_Q = 1,3 = 138 %

Das normale Kurvenbild zeigt einen steilen systolischen Anstieg, einen engen Kurvengipfel und einen langsamen Abstieg zur Basislinie. Es treten hierbei eine oder mehrere Nachwellen auf. Dieses Bild wird durch Gefäßerkrankungen und Herzfehler verändert, davon sind besonders die Amplitudenhöhe und die Nachschwankung betroffen.

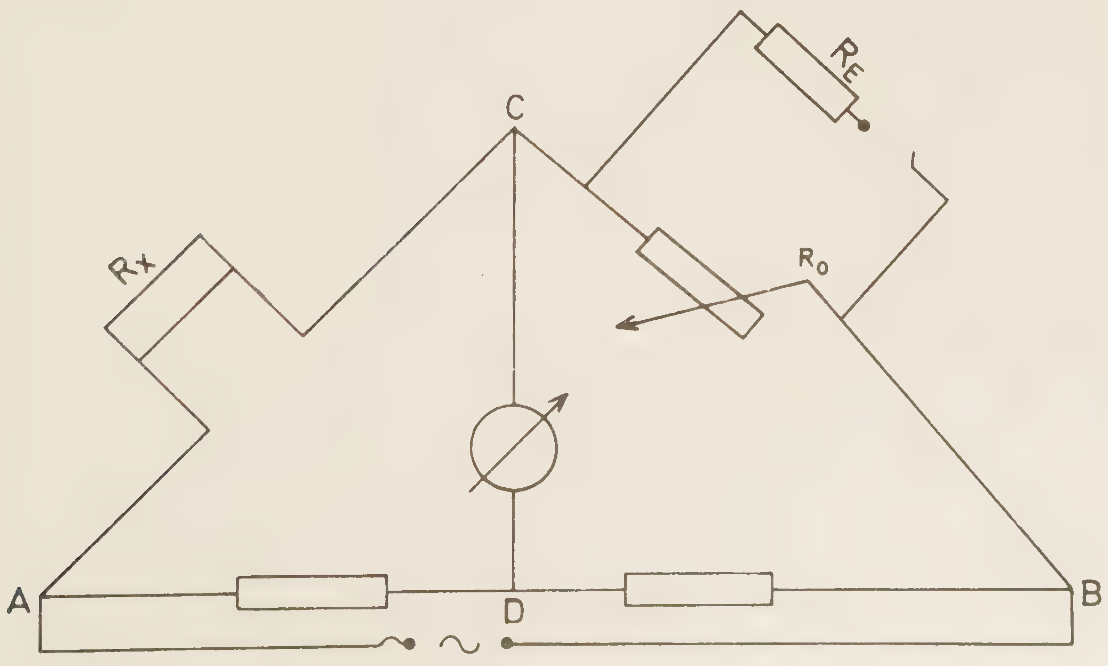
Bei der Mitralstenose zeigt sich zum Beispiel eine Verkleinerung der Amplitude. Die Aorteninsuffizienz führt hingegen zu einem steilen systolischen Anstieg der Kurve, einer hohen Amplitude, einem engen Kurvengipfel und einer kaum nachweisbaren Nachwelle; die Kurve verläuft nahezu parallel zur Basislinie, bevor der nächste systolische Anstieg beginnt. Auch eine fortgeschrittene Aortenstenose läßt sich im Rheogramm nachweisen. Wie bei der Aorteninsuffizienz verzeichnet man auch hier den steilen systolischen Anstieg bei erniedrigter Amplitude und Abrundung des Kurvengipfels. Die Tricuspidalinsuffizienz zeigt neben der arteriellen Welle eine Nachwelle, die von KAINDL und POLZER (1959) als "Stauwelle" bezeichnet wird und venösen Ursprungs ist. Sie folgt fast immer der dikroten Welle. Das Rheogramm der Aortenisthmusstenose hat ebenfalls charakteristische Veränderungen. In den oberen Extremitäten bemerkt man eine normale oder überhöhte Amplitude, während in den unteren Extremitäten eine deutliche Reduzierung der Amplitude nachweisbar ist. Normale venöse Schwankungen verändern das

Bild der rheographischen Kurve nicht, da die Lumenänderung zu geringfügig ist. Auch bei Varizen konnte man keine Änderung der Kurvenform beobachten. Erst bei Stauungszuständen mit ins Gewebe austretender Ödemflüssigkeit findet man die sog. "Ödemkurve" oder "Curve en miniature", die einen sehr steilen systolischen Anstieg und eine sehr niedrige Amplitude, aber eine deutliche Nachwelle zeigt. Man erhält diese Kurvenform bei Ödemen jeder Genese, also bei renalen, allergischen, cardialen, statischen und hypoproteinämischen.
Beim Auftreten von Extrasystolen wird nur die Amplitude herabgesetzt, weitere Änderungen im Kurvenbild wird man nicht feststellen. Bei arteriosklerotischen Wandeinlagerungen oder luetischen Plaques der Aorta werden charakteristische Veränderungen im Rheogramm der Extremitäten aufgezeigt.
Die Amplitude ist reduziert, der Kurvengipfel rund, die Nachwelle fehlt. Besonders wichtig sind die rheographischen Untersuchungen bei Gefäßwandschäden in der Peripherie, z.B. bei der Endangitis obliterans oder auch der Arteriosklerose.
Bei nur leichten Wandveränderungen der Arterien nähert sich durch die Erhöhung der Wandstarre die Nachwelle der Basislinie. Wird der Prozeß ausgeprägter, so ergibt sich eine niedrigere Amplitude und eine Abrundung des engen Kurvengipfels. Bei Gefäßspasmen stellt sich entweder gar keine Kurve dar oder eine mit extrem niedriger Amplitude, engem Gipfel und deutlicher Nachwelle.
Die Rheographie mißt die Schwankungen der elektrischen Leit-

fähigkeit, die durch die Pulswelle ausgelöst werden. Mit dem Auftreten der Pulswelle verstärkt sich nämlich die Leitfähigkeit und sinkt der Ohmsche Grundwiderstand R_o im Körperinnern ab. Widerstandsänderungen sind demzufolge umgekehrt proportional den Leitfähigkeitsänderungen.

II. Die Technik der Rheographie

KAINDL, POLZER und SCHUHFRIED (1959) empfahlen zur Durchführung rheographischer Messungen folgende Technik. Die Meßstrecke wird mit ringförmigen Elektroden bei der hier interessierenden Längsrheographie abgegrenzt. Der Meßstrom ist ein Wechselstrom mit einer Frequenz von 20 000 - 30 000 Hz. Die Schwankungen in der Leitfähigkeit werden in Spannungsschwankungen transformiert. Man verstärkt sie mit einem Rheographiegerät und zeichnet sie mit einem elektrokardiographischen Gerät auf. In der Rheographie benutzt man die Wheatstonesche Brückenschaltung auf folgende Weise: In die eine Seite der Brücke wird als zu messender Widerstand R_x die jeweilige Extremität des Probanden gelegt. Die andere Brückenseite ist mit einem Regelwiderstand bestückt. Als Basiswiderstände sind zwei gleiche Widerstände gewählt. Die Brücke zwischen den Punkten A und B wird unter die Spannung eines hochfrequenten Wechselstroms gesetzt.



Fließt nun zwischen den Punkten C und D kein Strom, so gilt $R_o = R_x$. Die Brücke ist damit abgeglichen. Mit Ringelektroden an der Extremität wird beim Probanden der Widerstand R_x abgegriffen. Um die verhältnismäßig hohen Übergangswiderstände der Haut zu überwinden, wird ein hochfrequenter Strom benutzt. Da die Haut kapazitive Widerstände bietet, wird auch noch ein kapazitiver Abgleich vorgenommen. Für die Messung und zur Auswertung der Messung interessiert jedoch nur der Ohmsche Widerstand. Das Prinzip der Messung beruht also darauf, daß auf Grund bekannter Widerstände unbekannte Widerstände ermittelt werden. Wichtig ist bei der Aufzeichnung der rheographischen Kurve auch die Eichung, die in Form eines in der Kurve nach oben gerichteten Impulses geschrieben wird. Meist wird als Höhe der Eichzacke eine Widerstandsabnahme von $R_E = 0.1$ genommen. Die Schwankungen der Leitfähigkeit im Bereich der Pulswelle werden mit dieser Eichzacke verglichen. Sie liegen in einem Bereich von 1 Promille und sind damit sehr gering.

III. Der Kreislauf bei Sauerstoffmangel

Das Verhalten des Kreislaufs bei erniedrigter Sauerstoffspannung wurde schon von vielen Autoren untersucht. Durch den Sauerstoffmangel treten im Kreislauf und dessen Regulationsmechanismen Veränderungen auf, die abhängig sind von der Höhe der Sauerstoffspannung. Wichtig ist dabei die Unterscheidung, ob die Ergebnisse durch längeren Aufenthalt im Hochgebirge erzielt wurden oder durch kurzfristige Versuche in der Unterdruckkammer oder bei Atmung von künstlichen Sauerstoffmangelgemischen, beispielsweise am Metabographen. Eine Pulsfrequenzsteigerung im Sauerstoffmangel wird von zahlreichen Autoren beschrieben wie BIOT, GAY-LUSSAC (1804 zit. nach TAVEL), SCHNEIDER (1918 zit. nach TAVEL 1943), KOCH (1936/37), HERBST (1936/37), STRUGHOLD (1937) ASSMUSSEN und CHIODI (1947), DOYLE et al (1952), FRITTS et al (1958), KIRCHHOFF und BURKART (1965, 1966), KIRCHHOFF (1967). Experimentelle Untersuchungen zeigten, daß die Zunahme der Pulsfrequenz annähernd in Form einer logarithmischen Kurve verläuft. Anfänglich steigt die Kurve nur allmählich, später immer steiler an (KOCH 1936/37). Der Anstieg der Pulsfrequenz richtet sich nach der Leistungsbreite der Probanden. Vegetativ ausgeglichene Probanden zeigen einen geringeren Anstieg und weniger Schwankungen als vegetativ labile. Die Ursache des Frequenzanstieges wurde von KOCH (1936/37) und HERBST (1936/37) und anderen Autoren geklärt. Bei bestimmter Druckhöhe, die von der Tierart abhängig ist und deren Höhe durch den Ausbildungsgrad des Vagustonus bei den einzelnen

Tierarten bestimmt zu sein scheint, erreicht die Pulsfrequenz ein Maximum und sinkt bei weiterer Druckverminderung wieder auf niedrigere Werte ab. HERBST (1936/37) nimmt an, daß die Hypoxämie des Blutes die Stoffwechselvorgänge im Vaguszentrum stört, so daß der tonische Einfluß des Vagus auf das Herz sich abschwächt. Nimmt die Hypoxämie weiter zu, so wird der Vagustonus allmählich aufgehoben, danach folgt die prämortale zentrale Vagusreizung, die eine erhebliche Bradycardie verursacht. Natürlich wurde beim Menschen dieses Stadium experimentell nicht erreicht. Ein stetiges Ansteigen der Frequenz ist nachweisbar, aber vor Aufhebung des Vagustonus fallen die Probanden durch die Störung des Zentralnervensystems infolge des Sauerstoffmangels in Bewußtlosigkeit. Nach KIRCHHOFF und BURKART (1965) liegt der Grenzwert der Pulsfrequenzzunahme, der als kritischer Punkt bezeichnet wird, bei einer Sauerstoffspannung von 40 mm Hg. Wurde die Sauerstoffspannung weiter erniedrigt, so erfolgte ein steiles Absinken der Pulsfrequenz in der kritischen Höhe. Entgegengesetzt zur Pulsfrequenzzunahme verhält sich der Sauerstoffplus, der sich aus dem Verhältnis von Sauerstoffaufnahme / min zu Pulsfrequenz in Schlägen / min berechnet.
Da die Sauerstoffaufnahme sich nur geringfügig ändert, die Zahl der Pulsschläge aber zunimmt, wird der Sauerstoffplus mit abnehmender Sauerstoffkonzentration der Atemluft kleiner werden.
Aus dem Verhalten des Blutdrucks lassen sich nicht wie aus der Pulsfrequenz in gleichem Maße Rückschlüsse auf die Höhe

und damit auf die abnehmende Sauerstoffspannung ziehen (STRUGHOLD (1937), RUFF (1957), KIRCHHOFF und BURKART (1965)).
Man kann verschiedene Verlaufsformen des Blutdrucks erkennen. Bis zu einem Sauerstoffmangelgemisch von 10 % steigt der systolische Blutdruck um wenige mm Hg an; liegt das Gemisch bei 8 % Sauerstoff, so erhöht sich der systolische Wert oder fällt ab, wobei letzteres überwiegt. Der diastolische Blutdruckwert wird entweder erhöht oder er sinkt ab, so daß die Blutdruckamplitude erweitert wird. Gleich der Pulsfrequenz verhält sich der Blutdruck der vegetativen Ausgangslage entsprechend. Je stabiler sie ist, desto mehr erweitert sich die Blutdruckamplitude. Bei labiler Ausgangslage liegen mehr oder weniger ausgeprägte Schwankungen vor. Nach dem Verhalten des diastolischen Blutdruckwertes wird auch vom sogenannten "fainting" bzw. "non fainting" Typ gesprochen. Beim "fainting" Typ sinkt zunächst der diastolische, dann der systolische Wert ab, schließlich erfolgt ein Kollaps. Der "non fainting" Typ zeigt keine deutlichen Abweichungen des diastolischen Blutdrucks vom Ausgangswert, bzw. der diastolische Wert steigt nur bei extremen Sauerstoffmangel an.
Eine gute höhentauglichkeit besitzen Probanden mit einer geringen Plusfrequenzzunahme, wobei der systolische Blutdruck maximal um 20 - 30 mm Hg anwächst, während der diastolische Wert nur geringfügig abfällt, bzw. ansteigt.
Probanden mit einer deutlichen Frequenzzunahme, mit einem stärkeren diastolischen Blutdruckabfall, gefolgt von einem Abfall des systolischen Wertes wurden als wenig höhenfest

bezeichnet.
Bei jungen Menschen wird auch häufig eine respiratorische Arrhythmie beobachtet, die sich auffallender Weise unter Einwirkung des Sauerstoffmangels zurückbildet.
Die Sauerstoffmangeluntersuchung wird auch, wie bereits berichtet, seit längerem zur Abklärung einer coronaren Minderdurchblutung benutzt. Normalerweise wird eine verringerte Sauerstoffsättigung des Blutes mit einer vermehrten coronaren Durchblutung beantwortet. Ist diese Reaktion durch pathologische Veränderungen der Coronararterien nicht mehr möglich, so zeigen sich im elektrokardiographischen Kurvenbild mit ischämischen ST- und T-Veränderungen die Zeichen einer coronaren Minderdurchblutung. Durch zwei Stressoren, Sauerstoffmangel und gleichzeitiger Arbeitsbelastung wird der Aussagewert der Methode noch erhöht (KIRCHHOFF 1967).
Zahlreiche Autoren wie z.B. REIN (1938), TAVEL (1943), DRIPPS und COMROE (1947), sowie RUFF (1957) beschrieben eine Schlagvolumenzunahme. STRUGHOLD (1938) führt die Schlagvolumenzunahme auf die zunehmende Druckamplitude zurück. Er beschreibt auch Tierversuche, bei denen sich gezeigt hat, daß die systolische Größe des Herzens sich wenig ändert, die diastolische Größe aber anwächst, so daß eine Schlagvolumenzunahme wahrscheinlich ist.
Ebenso stellten SANDS und DE GRAFF (zit. nach HERBST 1938) im Tierversuch mit zunehmender Hypoxämie ab einer Höhe von ca. 4000 m eine deutliche Vergrößerung des Schlag- und Minutenvolumens fest. GROLLMANN (zit. nach HERBST 1936/37) fand mit der Azethylenmethode Werte, die eine Schlagvolumenerhö-

hung bei akutem und chronischem Sauerstoffmangel beweisen.
MANIGOLD und HERBST (1936) bemerkten in der Unterdruckkammer bei einem Unterdruck, der einer Höhe von 4000 m entsprach, stets eine Vergrößerung des Schlag- und Minutenvolumens.

Es zeigt sich also, daß vegetativ labile Personen schon bei geringer Verminderung des Sauerstoffpartialdruckes erhebliche Regulationsstörungen aufweisen, während bei Menschen mit ausgeglichenen Kreislaufverhältnissen erst in großen Höhen (6000 - 7000 m) diese Veränderungen auftreten.

IV. Durchführung der Experimente

1. Untersuchungsgut

Insgesamt wurden 47 kreislaufgesunde männliche Probanden im Alter von 19 - 55 Jahren untersucht. Bei keinem der Probanden wurden auf Grund anamnestischer und klinischer Voruntersuchungen Hinweise festgestellt, die auf eine periphere Durchblutungsstörung hingedeutet hätten. Die Voruntersuchung umfaßte eine eingehende klinische Durchuntersuchung einschließlich Röntgenaufnahmen des Herzens, EKG-Registrierung. Laboruntersuchungen wie Blutbild, Blutsenkungsreaktion, Bestimmung der Cholesterine.
Aus diesem Kollektiv wurden zwei Gruppen von Altersstufen gebildet. Die erste umfaßte 25 Probanden zwischen 19 - 34 Jahren, die zweite 22 Probanden zwischen 35 - 55 Jahren. Das mittlere Alter der ersten Gruppe betrug 21,3 Jahre, das der 2. Gruppe 47,2 Jahre.

2. Untersuchungsmethodik

Folgende rheographische Untersuchungsverfahren wurden angewendet:

1. Das Längsrheogramm am linken Ringfinger zwischen Grundglied und Mittelglied.
2. Das Längsrheogramm am linken Bein im Bereich direkt über dem linken Kniegelenk bis handbreit über den Malleolen des Sprunggelenks.

Zur Registrierung wurden Ringelektroden aus Aluminium benutzt, die am Finger einen halben Zentimeter breit und am Bein zwei Zentimeter breit waren. Sie wurden mit dünnen Zellstoffstrei-

fen unterlegt, die mit physiologischer Kochsalzlösung getränkt waren. Neben den Rheogrammen des Fingers und des Beines wurde das EKG in Abteilung I geschrieben und gleichzeitig der systolische und diastolische Blutdruck gemessen.

3. Verwendete Apparaturen

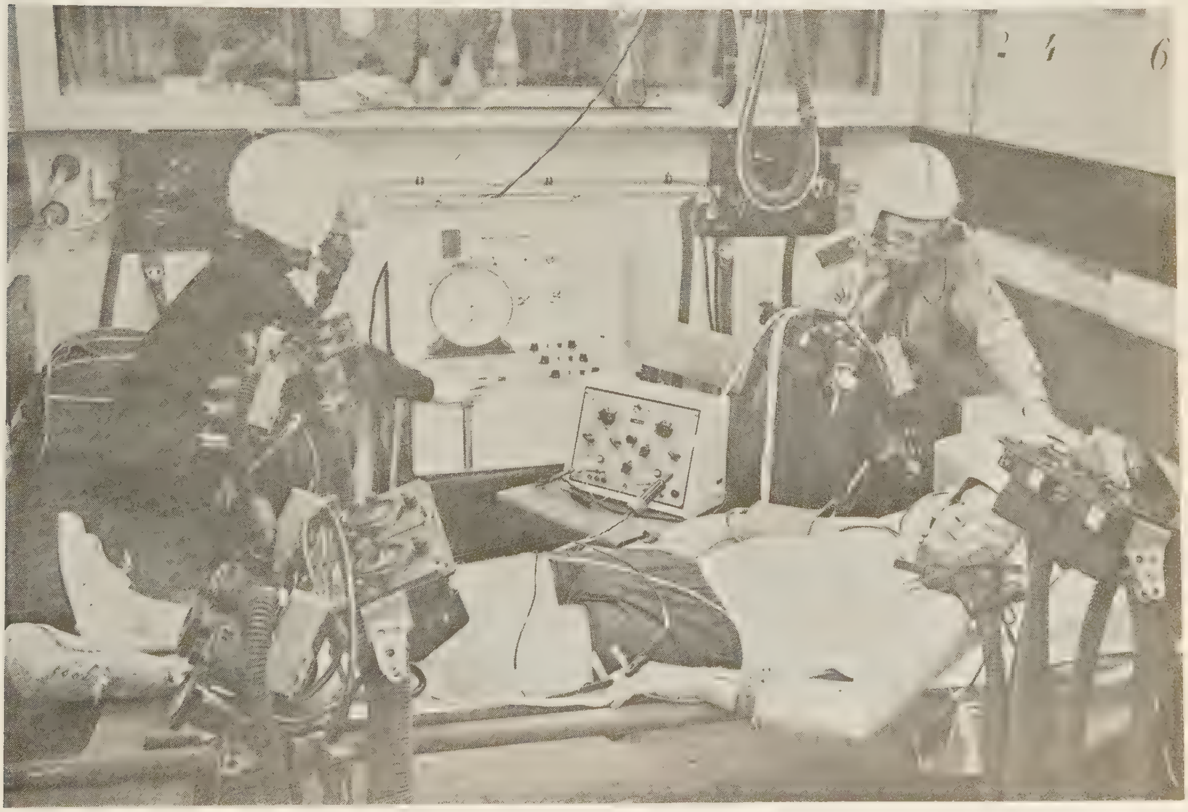
Die Messungen wurden mit einem Schuhfriedschen Doppelrheographiegerät vorgenommen. Dieses Gerät enthält zwei Mittelfrequenzgeneratoren, von denen jeder eine Wheatstonesche Brücke speist. Durch diese zwei Meßbrücken kann gleichzeitig in zwei verschiedenen Körperabschnitten die elektrische Leitfähigkeit bestimmt werden. Als Schreibverstärker diente ein EKG Dreifachschreiber der Firma Hellige Typ Multiscriptor 9400 T. Der systolische und diastolische Blutdruck wurde mit dem halbautomatischen Meßgerät der Firma Elac von einer Hilfsperson in bestimmten zeitlichen Abständen gemessen. Die Untersuchungen führte man einerseits in der Unterdruckkammer der Guardite Corporation Chicago/Ill. USA durch, andererseits mit einer Sauerstoffmischanlage, die sich im Metabographen nach Fleisch (Metabo Epalinges) befand und zwar unter atmosphärischem Druck. In der Unterdruckkammer erzeugte man durch Auspumpen der Kammerluft einen Unterdruck und verdünnte damit das Luftgasgemisch. In den Versuchen, die der Arbeit zugrunde liegen, wurde der Druck pro Minute um 41,4 mm Hg gesenkt, bis ein Atmosphärendruck von 380 mm Hg erreicht war, das entspricht einer Höhe von 5500 m. Die Druckabnahme von ca. 41,4 mm Hg/min kommt einer Steiggeschwindig-

keit in der freien Atmosphäre von 660 m/min gleich. Bei einem Druck von 380 mm Hg herrscht ein Sauerstoffpartialdruck von 80 mm Hg im Gegensatz zu dem normalen Luftdruck von 760 mm Hg, wo der Sauerstoffpartialdruck 159,6 mm Hg beträgt. Das Sauerstoffangebot für die Probanden entspricht der Atmung eines Atemgemisches mit 10 % Sauerstoff bei normalem Luftdruck. Im Gegensatz zur Unterdruckkammer wird bei der Sauerstoffmangeluntersuchung am Metabographen mit der Mischanlage der äußere Druck konstant gehalten und lediglich der Sauerstoffpartialdruck reduziert. Die fehlende Sauerstoffmenge wird durch Stickstoff ersetzt. Die automatische Sauerstoffmangelanlage im Metabographen kann jederzeit eingeschaltet werden. Sie besitzt außerdem den Vorteil, daß man mit ihr jedes gewünschte Sauerstoffmangelgemisch herstellen kann. Das Sauerstoffmangelgemisch bestand aus 10 % Sauerstoff und 90 % Stickstoff, durch eine Atemmaske wurden die Probanden damit beatmet. Anschließend an die Sauerstoffmangeluntersuchung leitete man ein Gemisch von 40 % Sauerstoff und 60 % Stickstoff zu.

4. Untersuchungsgang

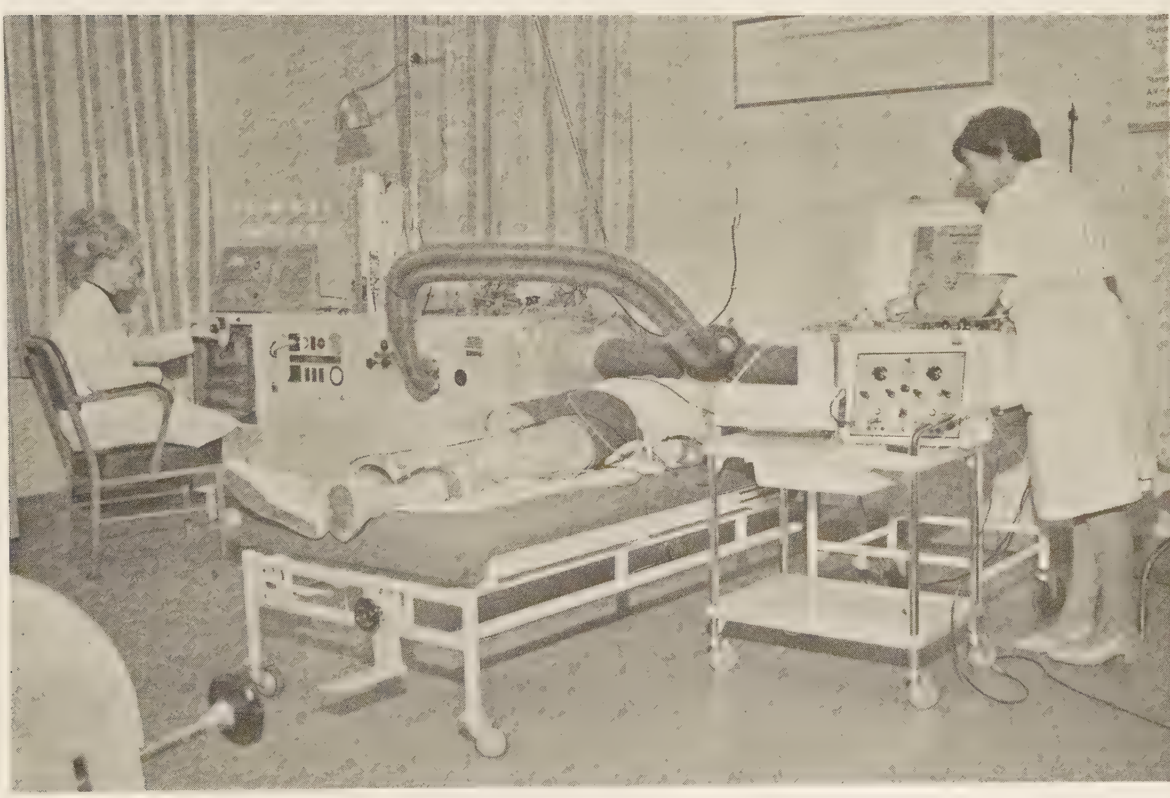
a) In der Unterdruckkammer wurde der Proband auf eine Liege gelegt und die Ringelektroden befestigt, die, wie bereits beschrieben, mit in Kochsalzlösung getränkten Zellstoffstreifen unterlegt waren. Die Probanden wurden an das Schuhfriedsche Doppelrheographiegerät, das EKG-Schreibgerät und das Blutdruckmeßgerät angeschlossen. Neben dem

Probanden nahmen zwei Hilfspersonen, die die Geräte bedienten, an der Unterdruckkammerfahrt teil.
Die Rheogramme wurden bei geöffneter Kammer zunächst in Bodenhöhe bei 21 % Sauerstoff und Außendruck geschrieben, anschließend wurde die Kammer bis auf einen Druck von 380 mm Hg bei einer Steiggeschwindigkeit von 660 m/min ausgepumpt. Die Registrierung der Rheogramme erfolgte in der 5. und 10. Minute, nachdem dieser Druck erreicht war. Danach wurden die Probanden mit einer Atemmaske an die Sauerstoffregleranlage angeschlossen und atmeten bei einem Druck von 380 mm Hg 100 % Sauerstoff. Nach fünf Minuten erfolgte wiederum eine Aufzeichnung der Rheogramme.
Bei jeder dieser Messungen wurde auch der Blutdruck registriert. In Abb. 2 ist die Versuchsanordnung in der Unterdruckkammer dargestellt.



Während der ganzen Kammerfahrt bestand zwischen dem bedienenden Personal und den Personen in der Kammer Sprechverbindung. Die Gesamtzeit eines Versuches betrug ca. 30 - 40 Minuten.

b) Während der Beatmung mit dem künstlichen Sauerstoffmangelgemisch wurden die Probanden ebenfalls auf eine Liege gelegt. Zunächst wurden die Rheogramme unter Normalbedingungen (Außendruck, 21 % Sauerstoff) aufgezeichnet. Die Luftdruckverhältnisse blieben während des gesamten Versuches erhalten. Dann wurde der Proband mit einer Gesichtsmaske an den Metabographen angeschlossen und an der Mischanlage ein Sauerstoffgehalt von 10 % eingeschaltet. Diese Versuchsanordnung ist in Abb. 3 zu sehen.



Es wurden minütlich folgende Größen registriert:

Sauerstoffaufnahme	in ml	(STPD)
Kohlensäureabgabe	in ml	(STPD)
Atemvolumen	in Ltr	(BTPS)
Atemfrequenz	pro Minute	
Atemminutenvolumen	in Ltr	(BTPS)
Pulsfrequenz	in Schl/Min	
systolischer und diastolischer Blutdruck	in mm Hg	

Dabei bedeutet STPD = Standard Temperatur 0° Celsius, Pressure 760 mm Hg, dry = trocken.

BTPS = Körpertemperatur 37°, Pressure atmosphärischer Druck, soft = wasserdampfgesättigt.

5 und 10 Minuten nach Einatmung dieses Mangelgemisches wurden jeweils die Rheogramme aufgezeichnet. Anschließend erfolgte an der Mischanlage die Umschaltung auf 40 % Sauerstoff und 60 % Stickstoff. Nach 5 Minuten wurden die Rheogramme nochmals geschrieben. Auch hier registrierte man bei jeder Messung den Blutdruck. Die Dauer dieses Versuches betrug ca. 20 - 25 Minuten.

5. Die Auswertung der Rheogramme

Die Rheogramme wurden nun folgendermaßen ausgewertet:

a) nach dem rheographischen Quotienten, der sich zusammensetzt aus der maximalen Amplitude = A max (mm), der Höhe der Eichzacke = E (mm), dem Grundwiderstand in Ohm = R_O, dem Eichwiderstand in Ohm = R_E. Aus diesen Größen wurde

nach der Formel von JANTSCH (1958) der rheographische Quotient = R_Q bestimmt.

$$R_Q = \frac{A_{max} \cdot R_E}{R_o \cdot E} \qquad \frac{(mm \cdot Ohm)}{(Ohm \cdot mm)}$$

Da man die Amplitude und die Höhe der Eichzacke in mm mißt und den Grundwiderstand und den Eichwiderstand jeweils in Ohm, so kürzen sich diese Maßeinheiten zu eins. Der oben aufgeführte rheographische Quotient ist somit dimensionslos.

b) nach dem Kurvenverlauf, wobei die Amplitudenhöhe, der systolische Anstieg, der Kurvengipfel und die Nachwelle analysiert werden.

c) die Pulsfrequenz wurde aus der rheographischen Kurve bestimmt.

d) weiterhin wurde die erste Ableitung des EKG registriert.

6. Statistische Auswertung

Es wurden die mittleren Abweichungen des prozentualen rheographischen Quotienten mit Hilfe des student-t-Testes auf Signifikanz geprüft. Die Werte der rheographischen Quotienten der einzelnen Meßdaten wurden in Prozent des in 21 % Sauerstoff gewonnenen Wertes ausgedrückt, wobei der 21 % Wert gleich 100 % gesetzt wurde.

Es wurden Unterschiede ermittelt:

1. zwischen den Meßdaten innerhalb der jeweiligen Altersklasse

2. zwischen gleichen Meßdaten verschiedener Altersklassen
3. zwischen den Sauerstoffspannungen der Unterdruckkammer und des Metabographen innerhalb der einzelnen Altersklassen. Es gelten nur solche Unterschiede als gesichert, deren t-Wert ein P ≦ 0.01 zuzuordnen war (≙ 99 % Wahrscheinlichkeit).

V. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse für das Verhalten des rheographischen Quotienten im Unterdruck und in Sauerstoffmangelgemisch für den Finger und das Bein sind in den folgenden Tabellen 1 - 9 niedergelegt. Die Ergebnisse, die in der Unterdruckkammer bei dem zum Gesamtdruck reduzierten Sauerstoffpartialdruck und im künstlichen Sauerstoffmangelgemisch am Metabographen nach 5 und 10 Minuten aufgezeichnet wurden, wurden getrennt jeweils für Unterdruckkammer und Metabograph zu einem Wert zusammengefaßt, da die Einzelwerte in sich keine Abweichung zeigten.
An diesen Tabellen sind die Einzelwerte aufgeführt, die für die beiden Probandengruppen in der Unterdruckkammer und bei künstlichem Sauerstoffgemisch am Metabographen ermittelt wurden. Sie sind jeweils für Finger und Bein getrennt. Der rheographische Quotient wurde wie berichtet bei verschiedenen Sauerstoffgemischen berechnet. Jeder Ausgangswert, der bei 21 % Sauerstoff und Außendruck gefunden wurde, ist 100 % gesetzt worden. Die anderen für jeden Probanden gewonnenen Werte bezogen sich auf diesen Ausgangswert. Aus den Prozentwerten wurde für die einzelnen Sauerstoffgemische der Mittelwert errechnet.
Tabelle 1 und 2 betreffen die Messungen am Finger und Bein für die jüngeren Probanden in der Unterdruckkammer unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff und Außendruck), bei 10 % Sauerstoff und Unterdruck und bei 100 % Sauerstoff und Unterdruck.

Tabelle 1

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten für den Finger in der Unterdruckkammer bei 25 jüngeren Probanden zwischen 19 - 34 Jahren unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff und Außendruck), bei 10 % Sauerstoff und Unterdruck und bei 100 % Sauerstoff und Unterdruck. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei Normalbedingungen ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		100 % Sauerstoff	
Name d. Prob.	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte
E.W.	0,348	100	0,399	114,5	0,433	124
H.Z.	0,517	100	0,586	113,0	0,454	87,5
J.H.	1,965	100	1,08	54,5	1,03	52,4
H.W.	1,815	100	0,825	45,5	0,474	26,1
E.W.	0,459	100	0,629	137,0	0,363	79,0
K.L.	0,694	100	1,185	171,0	0,208	30,0
F.Sch.	0,220	100	0,409	181,5	0,25	114,0
A.B.	0,356	100	0,292	82,0	0,387	108,5
V.W.	2,330	100	1,558	67,0	0,905	38,8
F.W.	0,500	100	0,652	130,0	0,332	66,5
J.M.	0,407	100	0,705	173,0	0,323	79,5
G.T.	0,54	100	0,404	74,5	0,27	50,0
N.K.	0,245	100	0,345	140,5	0,175	71,3
D.B.	0,239	100	0,569	238,0	0,379	158,0
Dr.M.	0,775	100	0,640	82,5	0,184	23,8
L.S.	0,295	100	1,392	471,5	0,701	238,0
L.W.	1,400	100	1,753	125,0	1,215	87,0
G.A.	0,55	100	0,630	114,5	0,460	83,5
N.B.	1,84	100	0,800	43,5	0,78	42,4
E.L.	0,314	100	0,358	114,0	0,20	63,5
F.E.	0,892	100	0,897	100,5	1,63	183,0
U.C.	0,552	100	0,523	94,5	0,41	74,3
H.K.	0,80	100	2,048	256,0	1,176	147,0
D.J.	1,00	100	0,625	62,5	0,875	87,5
K.B.	0,75	100	0,24	32,0	0,278	37,0

Tabelle 2

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten in der Unterdruckkammer für das Bein bei 25 jüngeren Probanden zwischen 19 - 34 Jahren unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff, Außendruck), bei 10 % Sauerstoff und Unterdruck, und bei 100 % Sauerstoff und Unterdruck. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei Normalbedingungen ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		100 % Sauerstoff	
Name d. Prob.	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte
E.W.	1,41	100	1,722	122,0	1,84	130,5
H.Z.	0,876	100	1,445	164,5	1,447	165,0
J.H.	1,6	100	0,983	61,4	1,228	76,5
H.W.	1,131	100	1,77	156,5	1,515	134,0
E.W.	0,936	100	1,202	128,5	0,93	99,4
K.L.	1,73	100	2,68	154,5	1,572	91,0
F.Sch.	2,23	100	1,24	55,5	0,925	41,5
A.B.	0,647	100	1,587	245,5	1,19	184,0
V.W.	1,900	100	1,638	86,0	1,23	64,5
F.E.	1,82	100	2,835	155,5	1,781	97,7
J.M.	1,07	100	1,791	167,5	0,62	58,0
G.T.	0,594	100	0,504	85,0	0,337	56,5
M.K.	0,559	100	0,766	137,0	0,625	112,0
D.B.	1,09	100	1,065	98,0	0,65	59,5
Dr.M.	0,845	100	0,842	99,5	0,51	60,3
L.S.	0,745	100	1,22	163,5	0,521	70,0
L.W.	1,095	100	1,452	132,5	1,33	121,5
G.A.	1,300	100	0,99	76,0	1,10	84,5
N.B.	0,98	100	1,13	115,0	0,96	98,0
E.L.	0,775	100	2,305	297,0	0,51	66,0
F.E.	1,533	100	2,404	157,0	2,83	184,0
U.C.	1,69	100	1,385	82,0	0,909	53,7
H.K.	1,40	100	1,729	123,5	1,764	126,0
D.J.	0,90	100	1,305	145,0	1,728	192,0
K.B.	1,05	100	1,176	112,0	1,071	102,0

Tabelle 3

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten im künstlichen Sauerstoffgemisch, hergestellt am Metabographen für den Finger bei 23 jüngeren Probanden zwischen 19 - 34 Jahren bei 21 % Sauerstoff, 10 % Sauerstoff und 40 % Sauerstoff. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei 21 % Sauerstoff ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		40 % Sauerstoff	
Name d.Prob.	Rheogr. Quot.	Prozentwerte	Rheogr. Quot.	Prozentwerte	Rheogr. Quot.	Prozentwerte
E.W.	0,765	100	0,448	58,5	0,496	64,7
H.Z.	0,57	100	0,514	90,0	0,368	64,5
J.H.	1,70	100	1,155	67,5	0,966	56,8
H.W.	0,52	100	0,466	89,5	0,346	66,5
E.W.	0,545	100	0,472	86,5	0,414	76,0
K.L.	0,527	100	0,427	80,5	0,691	131,5
F.Sch.	0,324	100	0,251	77,5	0,163	50,3
A.B.	0,705	100	1,420	201,5	0,695	98,5
V.W.	1,04	100	0,477	46,0	0,345	33,2
F.W.	0,258	100	0,399	155,0	0,209	81,0
J.M.	1,558	100	0,755	48,5	1,55	100,0
G.T.	0,37	100	0,329	89,0	0,32	86,5
M.K.	0,812	100	0,741	91,0	0,62	76,5
D.B.	1,235	100	0,93	75,0	1,14	92,5
Dr.M.	1,42	100	0,660	46,5	0,214	15,1
L.S.	1,13	100	1,70	150,0	1,833	162,0
L.W.	1,425	100	2,112	148,0	0,735	51,5
G.A.	0,60	100	0,765	127,5	0,36	60,0
N.B.	1,58	100	1,545	97,5	1,22	77,0
E.L.	0,284	100	0,292	103,0	0,339	119,0
F.E.	10,6	100	13,735	129,5	3,23	34,0
U.C.	0,697	100	0,967	138,5	0,566	81,0
H.K.	1,00	100	0,545	54,5	0,49	49,0

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die Verhältnisse für die jüngeren Probanden im künstlichen Sauerstoffmangelgemisch am Metabographen bei verschiedenen Sauerstoffgaben, aber bei gleichbleibendem Außendruck

Tabelle 4

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten im künstlichen Sauerstoffgemisch, hergestellt am Metabographen für das Bein bei 23 jüngeren Probanden zwischen 19 ± 34 Jahren bei 21 % Sauerstoff, 10 % Sauerstoff und 40 % Sauerstoff. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei 21 % Sauerstoff ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		40 % Sauerstoff	
Name d.Prob.	Rheogr. Quot.	Prozentwerte	Rheogr. Quot.	Prozentwerte	Rheogr. Quot.	Prozentwerte
E.W.	0,965	100	0,917	95,0	0,65	67,5
H.Z.	0,98	100	1,071	114,0	0,955	97,5
J.H.	0,723	100	0,609	84,5	0,905	125,0
H.W.	0,855	100	1,353	143,0	0,76	89,0
E.W.	1,045	100	1,335	128,0	1,09	104,5
K.L.	0,715	100	0,784	109,5	0,527	73,5
F.Sch.	0,88	100	1,32	150,0	0,677	77,0
A.B.	1,05	100	1,497	143,0	1,04	99,0
V.W.	0,61	100	0,719	118,0	0,454	74,5
F.W.	1,081	100	1,13	103,5	1,11	103,0
J.M.	0,888	100	1,028	115,5	0,908	102,5
G.T.	0,855	100	1,417	165,5	0,91	106,5
N.K.	1,394	100	1,33	95,5	1,27	91,0
D.B.	0,643	100	0,790	123,0	1,18	184,0
Dr.M.	0,865	100	1,11	128,0	1,15	135,0
L.S.	0,683	100	1,407	205,5	1,05	154,0
L.W.	1,23	100	1,885	153,0	1,065	86,5
G.A.	1,20	100	1,05	87,5	1,01	84,0
N.B.	1,10	100	1,09	99,0	0,79	72,0
E.L.	1,113	100	1,595	143,5	1,35	121,0
F.E.	0,73	100	1,685	231,0	0,72	98,5
U.C.	0,752	100	0,742	98,5	0,664	88,5
H.K.	1.10	100	1,122	102,0	1,155	105,0

Tabelle 5

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten in der Unterdruckkammer für den Finger bei 22 älteren Probanden zwischen 35 - 55 Jahren unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff, Außendruck), bei 10 % Sauerstoff und Unterdruck und bei 100 % Sauerstoff und Unterdruck. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei Normalbedingungen ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		100 % Sauerstoff	
Name d.Prob.	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte
K.D.	0,362	100	0,134	37,0	0,296	81,7
F.M.	0,94	100	1,116	118,5	0,84	89,5
E.D.	1,25	100	1,055	84,5	0,79	63,2
H.E.	0,57	100	0,37	65,0	0,35	61,5
S.T.	0,41	100	0,48	117,0	0,44	107,0
J.B.	1,20	100	0,94	78,0	0,86	71,5
K.V.	0,34	100	0,345	101,5	0,52	153,0
R.S.	1,50	100	0,805	53,5	1,55	103,0
G.S.	0,21	100	0,165	78,5	0,15	71,5
E.E.	1,40	100	1,375	98,0	1,05	75,0
S.K.	1,50	100	0,96	64,0	0,62	41,4
H.W.	1,35	100	0,705	52,0	0,46	34,0
P.W.	0,62	100	0,465	75,0	0,28	45,0
T.H.	0,70	100	0,575	82,0	0,98	140,0
L.G.	1,05	100	0,435	41,5	0,72	68,5
F.L.	0,43	100	0,435	101,5	0,25	58,0
R.H.	0,85	100	0,725	85,5	0,48	56,5
H.G.	0,44	100	0,56	127,0	0,77	175,0
F.U.	0,56	100	0,35	62,5	0,40	71,5
Dr.H.	1,03	100	0,69	67,0	0,84	81,5
E.W.	0,60	100	0,485	80,5	1,25	208,0
D.Z.	0,53	100	0,51	96,0	0,51	96,0

Die Tabellen 5 - 8 geben die Verhältnisse bei den älteren Probanden wider, die unter den gleichen Versuchsbedingungen im Unterdruck und im künstlichen Sauerstoffgemisch am Metabographen erzielt wurden.

Tabelle 6

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten in der Unterdruckkammer für das Bein bei 22 älteren Probanden zwischen 35 - 55 Jahren unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff, Außendruck), bei 10 % Sauerstoff und Unterdruck und bei 100 % Sauerstoff und Unterdruck. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei Normalbedingungen ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		100 % Sauerstoff	
Name d.Prob.	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte
K.D.	0,75	100	0,915	122,0	1,38	184,0
F.M.	0,862	100	1,004	116,0	0,714	83,0
E.D.	1,25	100	0,92	73,5	0,87	69,5
H.E.	0,69	100	0,58	84,0	0,50	72,5
S.T.	0,87	100	0,435	50,5	0,45	51,5
J.B.	0,44	100	0,43	97,5	0,42	95,5
K.V.	0,97	100	0,95	97,5	0,76	78,5
R.S.	0,50	100	0,535	107,0	0,57	114,0
G.S.	0,68	100	0,725	106,5	0,70	103,0
E.E.	1,20	100	0,78	65,0	0,78	65,0
S.K.	1,25	100	1,19	95,0	1,40	112,0
H.W.	0,60	100	0,535	89,5	0,54	90,0
P.W.	0,97	100	0,94	96,5	1,05	108,0
T.H.	0,88	100	1,075	125,0	0,98	111,5
L.G.	0,90	100	0,81	90,0	0,58	64,5
F.L.	0,52	100	0,555	106,5	0,54	104,0
R.H.	0,63	100	0,715	113,5	0,58	92,0
H.G.	0,45	100	0,65	144,5	0,74	165,0
F.U.	0,31	100	0,325	104,5	0,29	93,5
Dr.H.	0,28	100	0,35	124,5	0,54	189,0
E.W.	0,48	100	0,465	96,5	0,43	89,5
D.Z.	0,77	100	0,80	104,0	0,80	104,0

Tabelle 7

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten im künstlichen Sauerstoffgemisch, hergestellt am Metabographen für den Finger bei 10 älteren Probanden zwischen 35 - 55 Jahren bei 21 % Sauerstoff, 10 % Sauerstoff und 40 % Sauerstoff. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei 21 % Sauerstoff ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		100 % Sauerstoff	
Name d.Prob.	Rheogr. Quot.	Prozentwerte	Rheogr. Quot.	Prozentwerte	Rheogr. Quot.	Prozentwerte
L.G.	0,287	100	0,240	83,5	0,1635	56,5
O.Z.	0,528	100	0,808	153,0	0,715	135,0
F.G.	0,73	100	0,595	81,5	0,57	78,0
F.U.	0,56	100	0,72	128,5	0,594	106,0
R.H.	0,83	100	0,915	110,0	1,05	126,5
K.D.	0,75	100	0,645	86,0	0,545	72,5
E.E.	0,36	100	0,33	92,0	0,28	78,0
J.B.	1,20	100	0,81	67,0	1,15	96,0
Dr.H.	0,51	100	0,355	70,0	0,42	80,4
E.W.	0,62	100	0,688	111,0	0,899	145,0

Tabelle 8

Einzelwerte und die in Prozent ausgedrückten Einzelwerte für das Verhalten des rheographischen Quotienten im künstlichen Sauerstoffmangel, hergestellt am Metabographen für den Finger bei 10 älteren Probanden zwischen 35 - 55 Jahren bei 21 % Sauerstoff, 10 % Sauerstoff und 40 % Sauerstoff. Die Prozentwerte des rheographischen Quotienten wurden auf den Wert bezogen, der bei 21 % Sauerstoff ermittelt wurde und der gleich 100 % gesetzt wurde.

	21 % Sauerstoff		10 % Sauerstoff		100 % Sauerstoff	
Name d.Prob.	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte	Rheogr. Quot.	Prozent-werte
L.G.	0,891	100	1,27	143,0	0,935	105,0
O.Z.	1,12	100	1,171	104,0	1,080	96,5
F.G.	1,12	100	0,835	74,5	1,000	89,0
F.U.	1,10	100	1,01	92,0	1,21	110,0
R.H.	1,15	100	1,23	107,0	1,185	103,0
K.D.	1,00	100	1,045	104,5	1,00	100,0
E.E.	1,15	100	0,85	74,0	0,72	63,0
J.B.	0,94	100	0,78	83,0	1,30	138,0
Dr. H.	0,58	100	0,58	100,0	0,79	136,0
E.W.	1,25	100	0,787	63,0	0,475	38,0

Die aus den Einzelergebnissen errechneten Mittelwerte unter Einschluß des Streubereichs und der Signifikanz finden sich in den Tabellen 9 und 10. Sie sind unterteilt in die Ergebnisse, die am Finger und die am Bein erzielt wurden.

Folgende Mittelwerte wurden bei einem Ausgangswert von 100 % gefunden:

Tabelle 9:

	10 % Sauerstoff	100 % Sauerstoff bzw. 40 % Sauerstoff
19 - 34 J.		
U-Kammer Finger	129 %	86 %
Metabograph Finger	98 %	75 %
35 - 55 J.		
U-Kammer Finger	80 %	89 %
Metabograph Finger	98 %	97 %
19 - 34 J.		
U-Kammer Bein	133 %	101 %
Metabograph Bein	128 %	102 %
35 - 55 J.		
U-Kammer Bein	100 %	102 %
Metabograph Bein	95 %	98 %

Tabelle 10:

Endanalysen für die mittleren Differenzen am Finger zwischen den mittleren in Prozent ausgedrückten rheographischen Quotienten aufeinanderfolgender Versuchsklassen und Signifikanztest mit Hilfe des Student-t-Testes.
$\bar{M}$ = mittlerer rheographischer Quotient in Prozent bezogen auf den Anfangswert unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff und Außendruck), der gleich 100 % gesetzt wurde.
_ = mittlerer Fehler des Mittelwertes,
$\bar{d}$ = mittlere Differenz zwischen den Mittelwerten,
Frgr. = Freiheitsgrade, t = t-Wert.

Vergleich der mittleren rheographischen Quotienten für 21 % und 10 % Sauerstoff

19 - 34 J.	$\bar{M}$ 100% Ausgangswert	σ	$\bar{d}$	t	FrGr.	statist. Sicherheit
Unterdruckkammer Finger	+ 29 %	18,22	+ 28,74	1,575	24	95 %
Metabograph Finger	- 2 %	8,5	- 2,2	0,258	22	95 %
35 - 55 J.						
Unterdruckkammer Finger	- 20 %	5,18	- 19,8	3,42	21	99 %
Metabograph Finger	- 2 %	8,6	- 1,75	0,204	9	--

Vergleich der mittleren rheographischen Quotienten für 10 % und 40 % bzw. 100 % Sauerstoff

19 - 34 J.	$\bar{M}$ 100% Ausgangswert	σ	$\bar{M}$ 100% Ausgangswert	σ	$\bar{d}$	t	Frgr.	statist. Sicherheit
Unterdruckkammer Finger	+ 29 %	18,22	- 14 %	10,37	-43,04	2,07	24	95 %
Metabograph Finger	- 2 %	8,5	- 25 %	6,57	-22,71	2,15	22	95 %
35 - 55 J.								
Unterdruckkammer Finger	- 20 %	5,18	- 11 %	9,45	+ 8,54	0,794	21	--
Metabograph Finger	- 2 %	8,6	- 3 %	9,5	- 0,86	0,067	9	--

Tabelle 11:

Endanalysen für die mittleren Differenzen am Bein zwischen den mittleren in Prozent ausgedrückten rheographischen Quotienten aufeinanderfolgender Versuchsklassen und Signifikanztest mit Hilfe des Student-t-Testes.

$\bar{M}$ = mittlerer rheographischer Quotient in Prozent bezogen auf den Anfangswert unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff und Außendruck), der gleich 100 % gesetzt wurde.

ε = mittlerer Fehler des Mittelwertes,

$\bar{d}$ = mittlere Differenz zwischen den Mittelwerten,

Frgr. = Freiheitsgrade, t = t-Wert

Vergleich der mittleren rheographischen Quotienten für 21 % und 10 % Sauerstoff

19 - 34 J.	$\bar{M}$ 100% Ausgangswert	ε	$\bar{d}$	t	Frgr.	statist. Sicherheit
Unterdruckkammer Bein	+ 33 %	10,6	+32,77	3,05	24	99 %
Metabograph Bein	+ 28 %	7,6	+27,6	3,63	22	99 %
35 - 55 J.						
Unterdruckkammer Bein	± 0 %	4,46	+ 0,4	0,089	21	--
Metabograph Bein	- 5 %	7,2	- 5,5	0,763	9	--

Vergleich der mittleren rheographischen Quotienten für 10 % und 40 % bzw. 100 % Sauerstoff

19 - 34 J.	$\bar{M}$ 100% Ausgangswert	ε	$\bar{M}$ 100% Ausgangswert	ε	$\bar{d}$	t	Frgr.	statist. Sicherheit
Unterdruckkammer Bein	+ 33 %	10,8	+ 1 %	11.82	-31,77	1,98	24	95 %
Metabograph Bein	+ 28 %	7,6	+ 2 %	5,76	- 26	2,72	22	95 %
35 - 55 J.								
Unterdruckkammer Bein	± 0 %	4,46	+ 2 %	7,7	+1,4	0,157	21	--
Metabograph Bein	- 5 %	7,2	- 2 %	9,2	+3,3	0,274	9	--

In den folgenden Abbildungen sind die Untersuchungsergebnisse graphisch dargestellt. Die Untersuchungen in der Unterdruckkammer und im künstlichen Sauerstoffmangelgemisch sind durch bestimmte Symbole gekennzeichnet (Kreis bedeutet Unterdruckkammer, Quadrat künstliches Sauerstoffmangelgemisch). Auf der Abszisse sind die Meßdaten markiert, die den jeweiligen Sauerstoffgehalt des Atemgemisches angeben. Auf der Ordinate ist der rheographische Quotient wie schon erwähnt, in Prozent des Ausgangswertes ausgedrückt. Die zugehörigen Mittelwerte sind durch Linien miteinander verbunden.

Abb. 4 zeigt die graphische Darstellung der mittleren rheographischen Quotienten in Prozenten für die jüngeren Probanden zwischen 19 - 34 Jahren für den Finger.

Abb.4

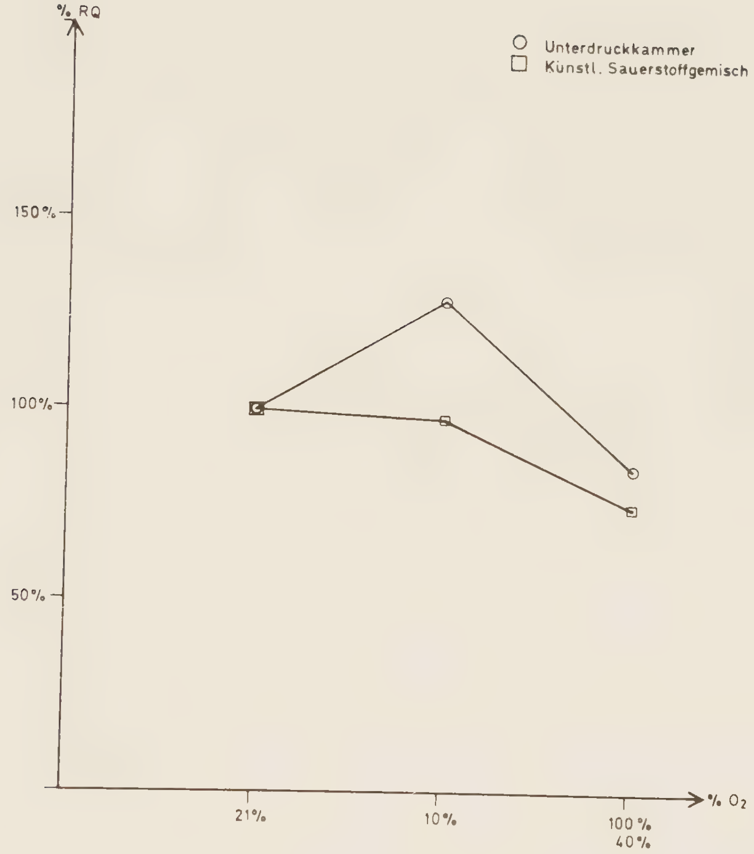


Abb. 5 zeigt die graphische Darstellung der mittleren rheographischen Quotienten in Prozenten für die älteren Probanden zwischen 35 - 55 Jahren für den Finger.

Abb. 5

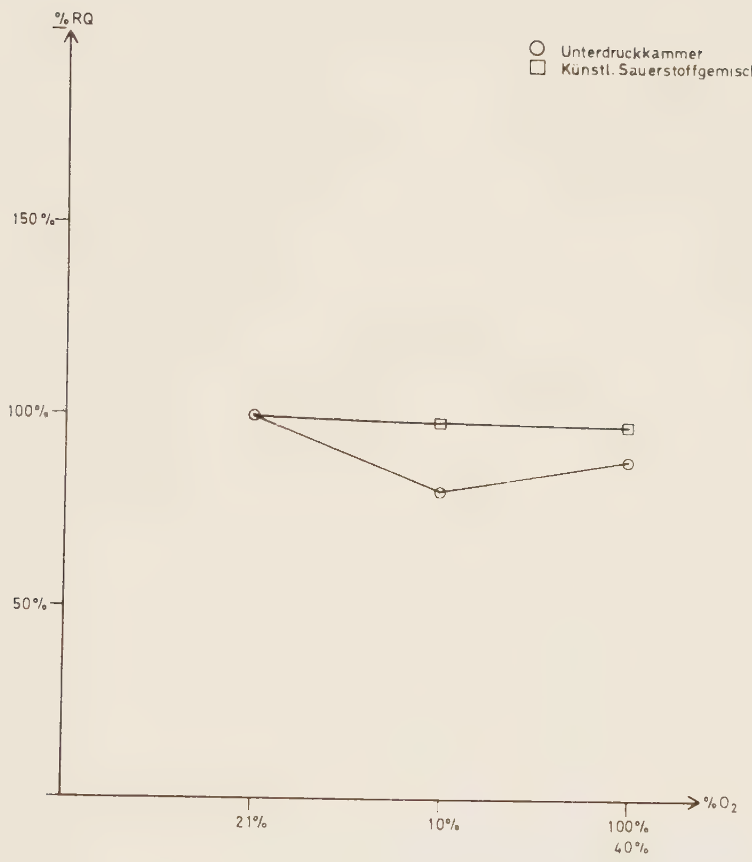


Abb. 6 zeigt die graphische Darstellung des mittleren rheographischen Quotienten in Prozenten für die jüngeren Probanden zwischen 19 - 34 Jahren für das Bein.

Abb 6

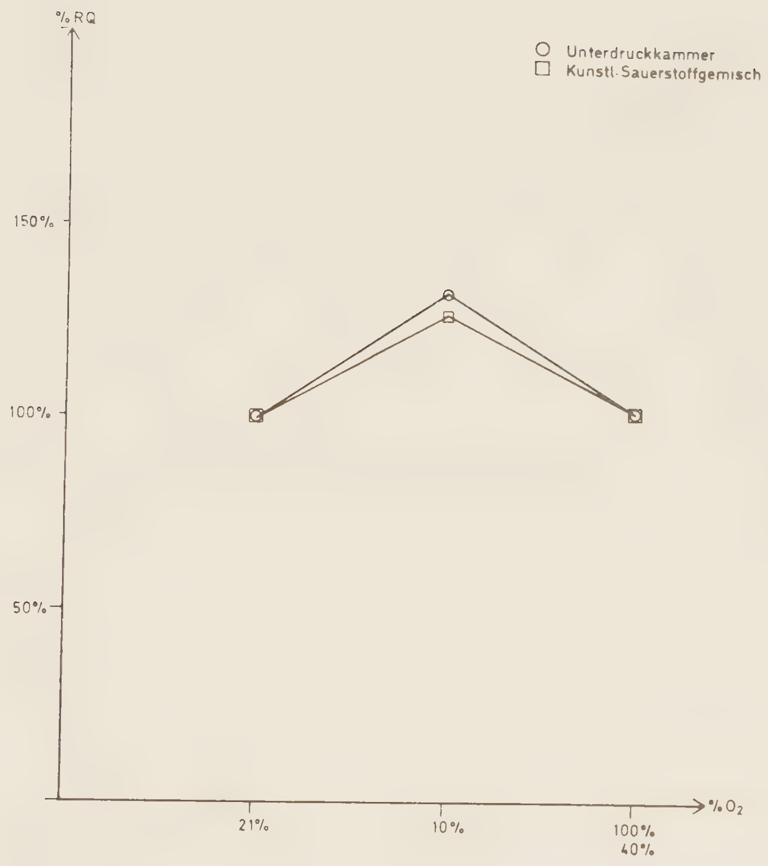
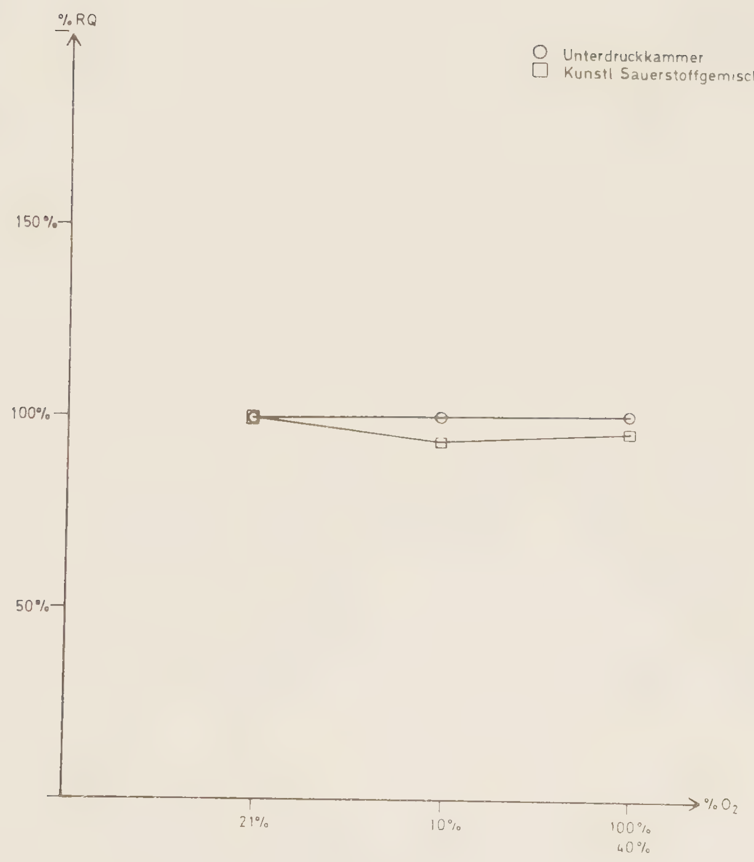


Abb. 7 zeigt den mittleren rheographischen Quotienten in Prozenten für die älteren Probanden zwischen 35 - 55 Jahren für das Bein.

Abb 7



Wir betrachten nun zunächst das Verhalten der jüngeren Versuchspersonen (19 - 34 Jahre) in der Unterdruckkammer bei Messungen am Finger. Bei erniedrigtem Sauerstoffpartialdruck steigt der rheographische Quotient am Finger von 100 % auf 129 % an. Nach anschließender fünfminütiger hundertprozentiger Sauerstoffatmung fällt der rheographische Quotient auf 86 % ab. Allerdings ist die Streuung der Werte des rheographischen Quotienten hier relativ groß. Eine statistische Signifikanz ist daher für die Abnahme des rheographischen Quotienten nicht zu erhalten.

Bemerkenswert ist nun, daß bei den älteren Versuchspersonen (35 - 55 Jahre) bei Erniedrigung des Sauerstoffpartialdruckes im Gegensatz zu den jüngeren Leuten der rheographische Quotient am Finger auf 80 % abfällt. Diese Abnahme ist hier sogar auf Grund der geringen Streuungen der Einzelwerte statistisch gesichert. Man kann daraus schliessen, daß die älteren Versuchspersonen auf Sauerstoffmangel bei den Messungen am Finger einheitlicher reagieren als die jüngeren. Atmen nun die älteren Probanden wie beim Versuch der jüngeren 5 Minuten lang 100 % Sauerstoff, so steigt der rheographische Quotient wieder um 9 % an, wobei bei dieser geringen Änderung keine signifikante Zuverlässigkeit zu erwarten ist.

Bei den Messungen am Bein zeigte sich bei der jüngeren Gruppe in der Unterdruckkammer am Anfang wie beim Finger ein Anstieg des rheographischen Quotienten und zwar von

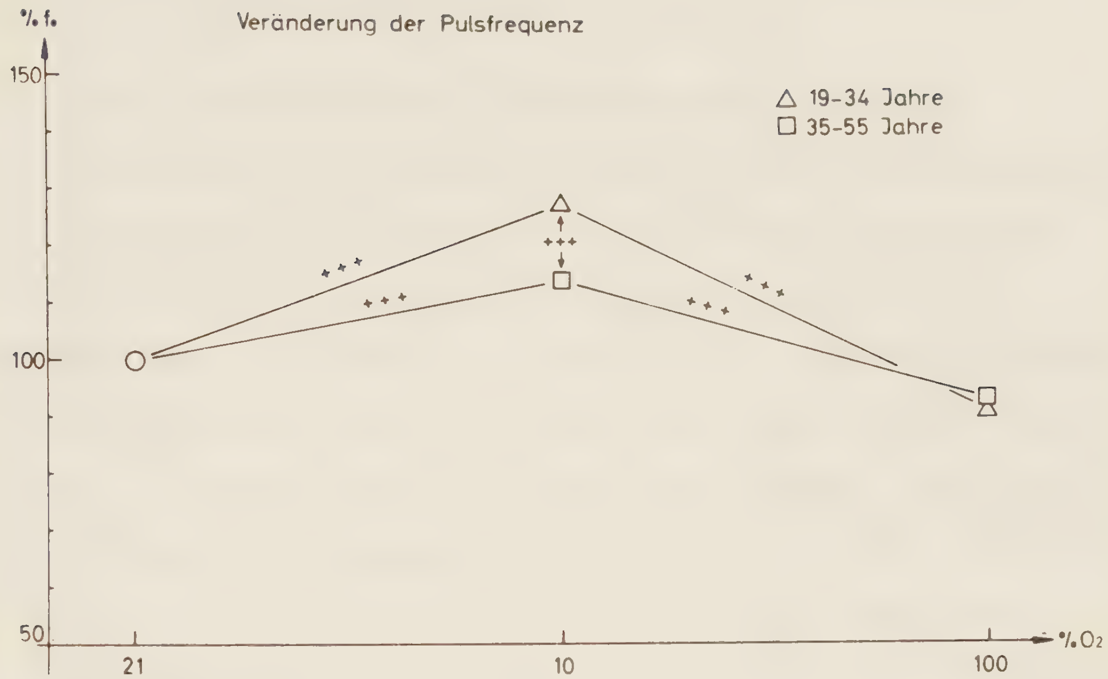
100 % auf 133 %, der trotz der geringen Zahl der Probanden statistisch abgesichert werden konnte. Nach fünfminütiger hundertprozentiger Sauerstoffzufuhr sank der rheographische Quotient um 32 % ab. Die Abnahme des rheographischen Quotienten war also geringer als am Finger, die Differenz betrug da 43 %. Im Gegensatz zu den Fingermessungen zeigten die Messungen am Bein im Sauerstoffmangel bei den älteren Personen keine Veränderungen, d.h. unter Sauerstoffmangel wurde der Gefäßquerschnitt der Älteren weniger beeinflußt.
Möglicherweise liegt das hier eventuell an der geringeren Elastizität der Gefäße im Vergleich zu den Jüngeren. Das beweist auch der Versuch mit der hundertprozentigen Sauerstoffzufuhr, hier reagieren die Gefäße der Älteren in keiner Weise (Änderung des rheographischen Quotienten um nur 2 %).
Zusammenfassend für die gesamte Messung in der Unterdruckkammer kann gesagt werden, daß die rheographischen Untersuchungen geeignet sind, die Elastizität der Gefäße durch Sauerstoffmangel zu prüfen. Die Messungen ergaben eindeutig, daß Jüngere mit bekanntlich höherer Gefäßelastizität bedeutend stärker auf Durchblutungsänderungen, die durch Sauerstoffänderungen verursacht sind, reagieren als ältere Personen.
Um nun festzustellen, ob für die Elastizität der Gefäße der äußere Gefäßdruck, d.h. der äußere atmosphärische Druck einen gleichzeitigen Effekt auf die Durchblutung und damit

den elektrischen Widerstand ausüben, wurden die Versuche in gleicher Weise bei künstlichem Sauerstoffmangel wiederholt, und zwar gleichermaßen am Finger und am Bein.
Bei der jüngeren Gruppe trat unter Sauerstoffmangel nur am Bein eine statistisch signifikante Zunahme des rheographischen Quotienten auf (jedoch nicht am Finger). Bei 40%iger Sauerstoffatmung (entspricht in der Unterdruckkammer 100 % Sauerstoffatmung) sanken dagegen die Werte ähnlich wie in der Unterdruckkammer sowohl am Bein, als auch am Finger ab, jeweils über 20 %. Damit war gleiches Verhalten zwischen Unterdruckkammer und Metabograph nachgewiesen. Bei den älteren Probanden war noch deutlicher am Metabographen als in der Unterdruckkammer sowohl am Finger als auch am Bein weder ein Anstieg unter Sauerstoffmangel, noch ein Abfall bei Sauerstoffgabe festzustellen. Damit ist die bereits gesagte Schlußfolgerung bestätigt, daß die Elastizität der Gefäße bei den jüngeren Probanden mit Hilfe der Rheographie unter verschiedenen Sauerstoffbedingungen wesentlich deutlichere Änderungen zeigt als bei den Älteren. Die rheographische Methode erweist sich damit als geeignet zur Bestimmung von Durchblutungsstörungen und der Elastizität der peripheren Gefäße. Ferner lassen die geringen Unterschiede der Messungen in der Unterdruckkammer und am Metabograph die Schlußfolgerung zu, daß bei Querschnittsänderungen der Gefäße lediglich der Sauerstoffpartialdruck eine Rolle spielt nicht jedoch der gesamte atmosphärische Druck einen Einfluß ausüben kann.

Das Verhalten des Blutdrucks bei erniedrigten Sauerstoffpartialdrucken bei jüngeren und älteren Probanden.

Die Bestimmung des systolischen und diastolischen Blutdrucks wurde zur gleichen Zeit vorgenommen wie die rheographischen Messungen. Die Werte schwankten um ± 10 mm Hg systolisch und diastolisch. Bei erniedrigtem Sauerstoffpartialdruck sowohl in der Unterdruckkammer als auch an der künstlichen Mischanlage verhielten sich die Blutdruckwerte unterschiedlich; in ca. 70 % der Fälle stieg der systolische Blutdruck leicht an, während der diastolische Wert etwas sank, so daß die Blutdruckamplitude geringfügig erweitert wurde. Bei Atmung von 40 % bzw. 100 % Sauerstoff erreichten beide Werte wieder die Ausgangslage. Die Streubreite war jedoch so groß, daß die Signifikanz nicht abgesichert werden konnte.

Die Pulsfrequenz wurde aus der rheographischen Messung ermittelt. In gleicher Weise wie beim rheographischen Quotienten wurde der Wert, der bei 21 % Sauerstoff gefunden wurde, gleich 100 % gesetzt und die Werte der anderen Meßdaten darauf bezogen. Es wurden dann die Ausgangswerte der Pulsfrequenz im Unterdruckkammerversuch und im Versuch an der künstlichen Sauerstoffmischanlage zu einem Wert zusammen gefaßt, da der Pulsanstieg bei beiden Versuchen nahezu gleich ist. In Abb. 8 sind auf der Abszisse wieder die Meßdaten markiert, die den jeweiligen Sauerstoffgehalt des Gemisches angeben, auf der Ordinate die Pulsfrequenz in Prozenten des Ausgangswertes bei 21 % Sauerstoff, die gleich 100 % gesetzt wurde.



Während bei der jüngeren Probandengruppe die Frequenz um 25 % anstieg, betrug der Anstieg bei den Älteren 10 %. Bei beiden Gruppen fiel die Zunahme der Frequenz nach Atmung von 40 bzw. 100 % Sauerstoff auf den Ausgangswert zurück, bzw. lag sogar noch etwas darunter. Das Verhalten beider Gruppen in allen Situationen ist auf Grund der geringen Streuung statistisch gesichert (hoher t-Wert des Signifikanztests).

Das Verhalten des Ohmschen Grundwiderstands im Körper für die jüngeren und älteren Probanden.

Bei der Abgleichung der Wheatstoneschen Brücke muß am Rheographiegerät für die Meßstrecke zwischen den Elektroden ein Ohmscher Grundwiderstand R_o des Körpers eingestellt werden, dessen Wert bei mehrmaligen Messungen für den Probanden unter Normalbedingungen (21 % Sauerstoff, Atmosphärendruck und Ruhelage) gleich war. Nach der Einstellung von R_o erfolgte dann, wie bereits beschrieben, die Registrierung. Die Nachstellung von R_o war vor jeder neuen Messung erforderlich, da sich die Ausgangsbedingungen so verändern konnten, daß eine einwandfreie Registrierung unmöglich gewesen wäre.

Die folgende Tabelle 12 zeigt den mittleren Ohmschen Grundwiderstand der gemessenen Körperteile (Finger, Bein) innerhalb der Altersklassen im Sauerstoffmangel, hervorgerufen in der Unterdruckkammer und an der künstlichen Mischanlage. Die Tabelle gibt weiterhin an, in welchem Maße sich der Grundwiderstand prozentual bei den Probanden auf die drei Klassen aufteilt: ohne Veränderung (=), Verminderung ($<$), Vergrößerung ($>$).

Tabelle 12:

Mittlere Abweichung des Grundwiderstands R_o in Prozent des Anfangwertes unter Normalbedingungen (21 %^{o}Sauerstoff und Außendruck) Bei Sauerstoffmangel von 10 %.

Unterdruckkammer		Metabograph	
Finger	Bein	Finger	Bein
19 - 34 Jahre			
94,14 %	101,18 %	102,16 %	108,6 %
= 16 %	= 24 %	= 31,8 %	= 50 %
< 28 %	< 16 %	< 36,4 %	< 22,73 %
> 56 %	> 60 %	> 31,8 %	> 27,27 %
35 - 55 Jahre			
102,4 %	97,7 %	102,5 %	107,5 %
= 9 %	= 18,1 %	= 30 %	= 20 %
< 0 %	< 27,3 %	< 10 %	< 30 %
> 91 %	> 54,6 %	> 60 %	> 50 %

Somit ist R_o als Widerstandsgröße ein weiterer Parameter neben dem rheographischen Quotienten zur Bestimmung der peripheren Durchblutung. Wie die Tabellen 13 und 14 zeigen ergibt R_o nicht in allen Fällen so günstige Ergebnisse wie der rheographische Quotient. Bei den Messungen in der Unterdruckkammer resultierte, daß bei 54 % der jungen und bei 71 % der alten Probanden der Grundwiderstand über dem Durchschnitt lag, obwohl zunächst angenommen werden konnte, daß wegen des erniedrigten Drucks in der Unterdruckkammer ein größerer Gefäßquerschnitt aufträte und dadurch eine Widerstandsverminderung entstünde.

Tabelle 13:

Vergleich des Ohmschen Grundwiderstandes mit den zahlenmäßigen Angaben der Experimentausgänge bei Sauerstoffmangel (10 %)

a) Versuche in der Unterdruckkammer bei den jüngeren Probanden

	R_o	Probanden
1. am Finger		
	=	4
	-	8
	+	12
2. am Bein	R_o	Probanden
	=	5
	-	5
	+	14

In Prozenten ausgedrückt bedeutet das, der Grundwiderstand bleibt gleich, bzw. verringert sich in 46 % der Fälle, er vergrößert sich in 54 % der Fälle.

Tabelle 14:

Vergleich des Ohmschen Grundwiderstandes mit den zahlenmässigen Angaben der Experimentausgänge bei Sauerstoffmangel (10 %) in der Unterdruckkammer für die älteren Probanden (35 - 55 Jahre)

	R_o	Probanden
1. am Finger		
	=	2
	-	0
	+	19
2. am Bein	R_o	Probanden
	=	4
	-	6
	+	11

In Prozenten ausgedrückt, bedeutet das, der Grundwiderstand bleibt gleich bzw. verringert sich in 29 % der Fälle, er vergrößert sich in 71 % der Fälle.

Tabelle 15 zeigt die Verhältnisse im künstlichen Sauerstoffmangelgemisch. Dort herrschen im Gegensatz zur Unterdruckkammer gleichbleibende Druckverhältnisse. Es war kein höherer Prozentsatz der Versuchspersonen für einen größeren Widerstand vorhanden, die Widerstandsänderungen verteilten sich nahezu gleichmäßig auf die Personen. Eine Erklärung läßt sich für diesen Effekt vorerst nicht geben.

Tabelle 15:

Vergleich des Ohmschen Grundwiderstandes mit den zahlenmäßigen Angaben der Experimentausgänge bei künstlich hervorgerufenem Sauerstoffmangel (10 %) am Metabographen

a) für die jüngeren Probanden

1. Finger

R_o	Probanden
=	8
-	7
+	7

2. Bein

R_o	Probanden
=	12
-	5
+	5

b) für die älteren Probanden

1. Finger

R_o	Probanden
=	3
-	2
+	5

2. Bein

R_o	Probanden
=	3
-	3
+	4

Besprechung der Ergebnisse

Bei der Rheographie führt jede Änderung des Widerstandes zwischen den Elektroden zu Änderungen des Brückenstroms. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die Durchblutung ziehen. Es wird nun untersucht, welche Parameter die Änderungen des Grundwiderstandes R_c zwischen den Elektroden herbeiführen.

R_o setzt sich zusammen

1. aus dem Ohmschen Grundwiderstand der Haut,
2. aus dem Ohmschen Grundwiderstand der Gewebe,
3. aus dem Ohmschen Grundwiderstand der Knochen,
4. aus dem Ohmschen Grundwiderstand der Venen und
5. aus dem Ohmschen Grundwiderstand der Arterien.

Änderungen des Widerstandes treten dort auf, wo sich durch den rhythmisch ändernden Blutstrom die Leitfähigkeit ändert. Diese Widerstandsänderung wird nach KAINDL, POLZER und SCHUHFRIED (1959) lediglich durch die großen und mittelgroßen Arterien bewirkt. Die Widerstände von Haut, Gewebe, Knochen und Venen sind daher im Großen und Ganzen als konstant zu betrachten. Da hochfrequenter Strom zur Messung verwendet wird, spielt der Hautwiderstand nur eine untergeordnete Rolle.

Es soll nun diskutiert werden, inwieweit durch den sich rhythmisch ändernden Blutstrom

1. Änderungen im normalen Gefäß auftreten,
2. diese Änderungen durch Sauerstoffmangel verstärkt werden,

3. Änderungen, die durch Gefäßschäden bedingt sind, unter Sauerstoffmangel deutlicher hervortreten.

ad 1) Durch die Pulswelle wird der jeweiligen Füllung des Gefäßes eine bestimmte Menge Blut hinzugefügt. Da sich Flüssigkeiten nicht komprimieren lassen, muß es zunächst zu einer Volumenvergrößerung und damit zu einer Querschnittsvergrößerung kommen, da das Blut auf Grund der engen Kapillaren nicht so rasch abfließen kann. Der Volumenausgleich geschieht während einer Pulsperiode. Danach hat das Gefäß den kleinsten Querschnitt, während es bei maximaler Füllung den größten hat. Das Verhältnis von maximalem Volumen zu kleinstem Volumen während der Pulsperiode wird als rheographischer Quotient bezeichnet

$$R_Q = \frac{V_1}{V_o}$$

V_o ist dabei das kleinste Volumen, V_1 das durch die Pulswelle vergrößerte Volumen. Entscheidend nun für die Änderung des Grundwiderstandes ist die durch die Volumenänderung hervorgerufene Querschnittsänderung in den Gefäßen. Der Ohmsche Widerstand berechnet sich nach der Formel

$$R = \rho \frac{l}{q}$$

wobei l die Länge der Meßstrecke ist, q der Querschnitt der Meßstrecke, in diesem Falle also der Gefäßquerschnitt und ρ der spezifische Widerstand des Mediums.

Die Gleichung bedeutet also, daß bei einem kleinen Gefäßdurchschnitt R ein Maximum erreicht, bei einem sehr großen

Gefäßquerschnitt hingegen ein Minimum. Der rheographische Quotient kann als Volumenquotient $\frac{V_1}{V_o}$ dargestellt werden, er kann aber auch nach der Formel von JANTSCH (1959) berechnet werden.

Es gilt also: $R_Q = \frac{V_1}{V_o} = \frac{A_{max} \cdot R_E}{E \cdot R_o}$

wobei A_{max} die maximale Amplitude in mm ist, R_E der Eichwiderstand in Ohm, E die Höhe der Eichzacke in mm und R_o der Grundwiderstand in Ohm.

Nach Brückenabgleich und Wahl des Eichwiderstandes wird nach dieser Formel R_Q durch Einsetzen von A_{max} bestimmt. Der rheographische Quotient ist somit ein Ausdruck für die Volumenänderung durch die Pulswelle.

Nach KAINDL, POLZER und SCHUHFRIED (1959) wird ein rheographischer Quotient im Bereich von 0,5 - 2,0 als normal bezeichnet.

In Vorversuchen zeigte sich aber, daß der rheographische Quotient von der Sorgfalt der Messungen und von der regulativen Gefäßstellung abhängt.

ad 2) Durch Anwendung der Formel zur Berechnung des rheographischen Quotienten war es möglich, den besonderen Einfluß von Sauerstoffmangel auf die Volumenänderung der grossen und mittleren Arterien zu prüfen. Sauerstoffmangel ruft, wie beschrieben, Veränderungen einzelner Kreislaufelemente hervor.

Nach MANIGOLD und HERBST (1937), TAVEL (1943), DRIPPS und COMROE (1947) zit. nach "A Testbook of Aviation Physiology" (1965), sowie RUFF (1957) findet zunächst eine Schlagvolumenzunahme statt. Auf Grund der Schlagvolumenzunahme er-

wartet man eine Vergrößerung des Verhältnisses von $\frac{V_1}{V_0}$, vorausgesetzt, daß die Gefäßstellung des jeweiligen Probanden die gleiche wie unter Normalbedingungen bleibt und daß die Meßstrecke von der Schlagvolumenzunahme erfaßt wird. Nach BROEMSER (1938) erwartet man eine Vergrößerung des Gefäßquerschnitts. Beim Abgleich der Wheatstoneschen Brücke, d.h. bei der Bestimmung des Grundwiderstandes R_o werden die Veränderungen des Gefäßquerschnitts ermittelt. Bei einer Widerstandsvergrößerung kommt es, wie bereits erwähnt, zu einer Querschnittsverkleinerung. Verändert sich der Widerstand R_o nicht, so bleibt die Gefäßstellung erhalten.

Aus Tab. 12 lassen sich die Widerstandsänderungen im Sauerstoffmangel und damit die Änderungen der Gefäßquerschnitte entnehmen. Es muß nun diskutiert werden, welche Veränderungen des rheographischen Quotienten für ein intaktes Gefäß durch die Querschnittsveränderungen zu erwarten sind. Sie sollen durch ein Zahlenmodell demonstriert werden. Man nehme an, das relative Gefäßvolumen V_o längs der Meßstrecke sei unter Sauerstoffmangelbedingungen 10, die Volumenvergrößerung (schlagvolumenbedingt) sei 2. Daraus ergibt sich nun ein rheographischer Quotient von 12/10 = 1,2. Ist der Ausgangswert für V_o dagegen V_o = 11 und die Volumenvergrösserung wieder 2 wie im ersten Fall, so ergibt sich nunmehr ein rheographischer Quotient von 13/11 = 1,18. Sei das anfängliche Gefäßvolumen V_o = 12 und die Volumenzunahme auch hier 2, so beträgt der rheographische Quotient 14/12 = 1,16.

Das heißt: bei gleicher Volumenzunahme wird der rheographische Quotient bei größeren Anfangsvolumina kleiner. Bei größeren Gefäßen ergibt die gleiche Volumenamplitude einen kleineren rheographischen Quotienten. Dieses Modell ergibt sich dann in einer Verkleinerung des Gefäßvolumens in gleichem Maße wie der rheographische Quotient sich proportional vergrößert. Das bedeutet: eine Vergrößerung des rheographischen Quotienten ist nur dann zu erwarten, wenn bei größeren Gefäßen eine entsprechend größere Gefäßerweiterung durch die Pulswelle eintritt. Bei Querschnittsvergrößerung eines Gefäßes liegt dagegen eine Verkleinerung des rheographischen Quotienten durchaus im Bereich der Norm.

ad 3) Als pathologisch sind nun solche Ergebnisse zu werten, die diesen Erwartungen nicht entsprechen, d.h. wenn bei Gleichbleiben des Querschnitts keine Vergrößerung des rheographischen Quotienten auftrat, oder bei einer Querschnittsverkleinerung der Gefäße der rheographische Quotient abfällt oder gleich bleibt. Bei einer Querschnittsvergrößerung der Gefäße kann das Absinken des rheographischen Quotienten, wie bereits erwähnt, im Bereich der Norm liegen oder auch pathologisch sein. Die Tatsache jedoch, daß der Proband in der Lage war, seine Gefäßstellung zu erweitern, spricht gegen die pathologische Veränderung.

Betrachtet man den Ausgang der Experimente in Bezug auf die Grundwiderstandsänderung, so erkennt man, daß die Querschnittsvergrößerung nur in einigen Fällen auftritt, vorherrschend sind Gefäßquerschnittsverengungen und Gleichblei-

ben der Gefäße. Insofern entsprechen die Ergebnisse dieser Experimente für das Bein durchaus den gesetzten Erwartungen. Es wurde nämlich gefunden, daß für das Kollektiv der Jüngeren ein gesicherter Anstieg des rheographischen Quotienten im Sauerstoffmangel vorlag, für das Kollektiv der Älteren hingegen, bei denen die Volumenamplitude zu gering war, um ein Ansteigen des rheographischen Quotienten zu bewirken, zeigte sich vorwiegend ein leichter Abfall bzw. ein Gleichbleiben des rheographischen Quotienten im Sauerstoffmangel.

Die Messungen am Finger entsprechen diesem Modell nicht. Es zeigte sich, daß bei den Jüngeren Probanden im Sauerstoffmangel ein nicht signifikanter Anstieg des rheographischen Quotienten für das Kollektiv vorlag. Dabei stieg in der Hälfte der Fälle der Grundwiderstand an, in der anderen Hälfte zeigte ein Drittel ein Gleichbleiben und zwei Drittel einen Abfall des Grundwiderstandes. Bei den älteren Probanden führte jede Art von Sauerstoffmangel zu einem gewissen Absinken des rheographischen Quotienten. Außerdem ergeben sich unterschiedliche Reaktionen in der Unterdruckkammer und im künstlich erzeugten Sauerstoffmangelgemisch am Metabographen. Bei den älteren Probanden wurde z.B. ein signifikanter Abfall des rheographischen Quotienten am Finger in der Unterdruckkammer festgestellt, obwohl der Widerstand in 91 % der Fälle anstieg. Dieses Ergebnis konnte aber durch das künstliche Sauerstoffmangelgemisch nicht reproduziert werden. Außerdem zeigte sich, daß die Werte bei

Sauerstoffgabe sich nicht, wie das beim Bein der Fall war, auf den Ausgangswert einstellten, sondern darunterblieben. Die Ergebnisse lassen vermuten, daß bei der Fingermessung Fehlerquellen in stärkerem Maße wirken als beim Bein. Der Grund mag einmal in der geringen Länge der Meßstrecke liegen (am Finger 3 cm gegenüber 40 cm am Bein), andererseits ergeben die Volumenverhältnisse der abgegriffenen Extremitäten ein noch ungünstigeres Bild. Auf der anderen Seite mag der Faktor Temperatur eine entscheidende Rolle spielen, da ein Auskühlen der Finger beispielsweise in der Unterdruckkammer, wo ein Temperaturabfall durch das Auspumpen zu verzeichnen ist, wesentlich stärker wirkt als am Bein. KAINDL, POLZER und SCHUHFRIED (1967) betonen ebenfalls, daß die große Schwankungsbreite in den Akren auf die Temperaturverhältnisse zurückzuführen seien. Aus den Versuchsergebnissen ergibt sich, daß die Messungen am Finger zur Feststellung von Gefäßschädigungen mit den vorliegenden Methoden ungeeignet sind. Die Versuchsergebnisse am Bein lassen bei einer Verkleinerung des rheographischen Quotienten im Sauerstoffmangel auf eine eventuelle Gefäßschädigung schließen, vorausgesetzt, daß im Sauerstoffmangel eine Kreislaufregulation im Sinne einer Schlagvolumenzunahme stattfindet. Von Probanden, deren rheographischer Quotient auf einen Gefäßschaden schließen läßt, erwartete man eine Änderung des Kurvenbildes. In keinem der untersuchten Fälle wurde, wenn man von einer teilweisen Amplitudenverkleine-

rung oder -vergrößerung absieht, eine Veränderung des Kurvenbildes gefunden. Dadurch wurde die eingangs gestellte Vermutung gestützt, daß es sich bei den Probanden um klinisch herz- und kreislaufgesunde Leute handelte.
Aus den Rheogrammen wurde zusätzlich die Pulsfrequenz ermittelt. Es ergaben sich für beide Versuchsgruppen gesicherte Anstiege der Frequenz im Sauerstoffmangel, sowie ein signifikanter Abfall bei Atmung von 40 % bzw. 100 % Sauerstoff nach dem Ausgangswert hin. Das Kollektiv der Jüngeren unterscheidet sich dabei von dem der Älteren in der Weise, daß die jüngeren Probanden signifikant ihre Pulsfrequenz mehr steigern. Dadurch wurden die Ergebnisse anderer Autoren bestätigt. Es bleibt nur zu überlegen, wieso bei den Jüngeren eine stärkere Frequenzsteigerung auftritt als bei den Älteren. Es liegen Berichte vor von SCHNEIDER (1918 zit. nach MATTHES (1960)), SCHWARZ (1937) und TAVEL (1943), die den älteren Probanden eine erheblich stärkere Höhenfestigkeit zusprechen als den Jüngeren, da eine Pulsfrequenzsteigerung, wenn sie ein bestimmtes Maß überschreitet, zu einem Kollaps führen kann. Eine signifikante Blutdrucksteigerung, wie sie nach den Beschreibungen von RANKE (1936) zu erwarten war, konnte während des Sauerstoffmangels nicht ermittelt werden. Vielmehr stimmen die Ergebnisse mit den Ergebnissen, wie sie bei den Unterdruckversuchen von STRUGHOLD (1937) und anderen Autoren gewonnen wurden, überein.
Die Ergebnisse der Untersuchungen am Bein haben gezeigt,

daß unter den vorliegenden experimentellen Bedingungen kein Einfluß des Unterdrucks auf die periphere Durchblutung besteht und nur der Sauerstoffmangel einen merklichen Einfluß auf sie ausübt.

Die Arbeit sollte versuchen festzustellen, ob die Rheographie in Verbindung mit Sauerstoffmangel zur Frühdiagnostik von Gefäßerkrankungen geeignet sei.

Es hat sich bei den Experimenten gezeigt, daß pathologische Gefäßschäden bei Verkleinerungen des rheographischen Quotienten im Sauerstoffmangel zu erwarten sind. Vor allem haben sich Messungen am Bein und damit an größeren Gefäßabschnitten als günstig erwiesen. Am Finger war die Zahl der Fehlerquellen zu groß.

Auf Grund der erzielten Ergebnisse kann die Rheographie in Verbindung mit Sauerstoffmangel als Methode zur frühzeitigen Erkennung von Gefäßschäden empfohlen werden.

Zusammenfassung:

1. Die Rheographie mißt die Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit, die durch die Pulswelle ausgelöst werden. Mit dem Auftreten der Pulswelle verstärkt sich die Leitfähigkeit und sinkt der Ohmsche Grundwiderstand R_o im Körperinnern ab. Mit einem Schuhfriedschen Doppelrheographiegerät werden diese Verhältnisse aufgezeichnet. Da das Gerät über zwei Meßbrücken verfügt, kann in zwei verschiedenen Körperabschnitten gleichzeitig die Leitfähigkeit und damit der Widerstand ermittelt werden. Der rheographische Quotient wurde nach der bekannten Formel von JANTSCH

$$R_Q = \frac{A_{max} \cdot R_E}{R_o \cdot E}$$

berechnet. Der rheographische Quotient wurde im Unterdruck bei Sauerstoffmangel und bei Sauerstoffgabe in der Unterdruckkammer und mit einem künstlich hergestellten Sauerstoffgemisch von 10 % Sauerstoff und 90 % Stickstoff und von 40 % Sauerstoff und 60 % Stickstoff am Metabographen bei Normaldruck ermittelt.

2. Die Messungen wurden an zwei Probandengruppen vorgenommen, bei den Jüngeren betrug das Alter zwischen 19 - 34 Jahren, das mittlere Alter lag bei 21,3 Jahren. Die ältere Gruppe war zwischen 35 - 55 Jahre alt bei einem mittleren Alter von 47,2 Jahren.

3. Treten im Sauerstoffmangel Veränderungen im Sinne von Verkleinerungen des rheographischen Quotienten auf, so sind pathologische Gefäßschäden zu vermuten, da auf Grund des aufgestellten Modells bei einem intakten Gefäß bei gleichbleibender Gefäßstellung und bei Querschnittsverkleinerung des Gefäßes eine Vergrößerung des rheographischen Quotienten erwartet wird. Nur bei Querschnittsvergrößerung der Gefäße zeigte das Modell, daß eine Verkleinerung des rheographischen Quotienten im Bereich der Norm liegt. Diese Querschnittsvergrößerung tritt aber nur in wenigen Fällen auf.
4. Beim Sauerstoffmangel zeigten sich für den Finger keine signifikanten Unterschiede zwischen den Älteren und den Jüngeren. Die Messung am Finger hat sich als ungünstig erwiesen.
5. Im Sauerstoffmangel zeigte der rheographische Quotient für das Bein einen signifikanten Unterschied zwischen den Jüngeren und den Älteren. Die rheographischen Quotienten der Älteren schwanken um den Ausgangswert, also um 100 %, während die der Jüngeren Probanden signifikant ansteigen und bei Sauerstoffgabe wieder den Ausgangswert erreichen.
6. Beide Altersgruppen zeigen signifikante Unterschiede im Bezug auf die Pulsfrequenz im Sauerstoffmangel. Es besteht weiterhin im Sauerstoffmangel ein gesicherter Unterschied zwischen den Altersgruppen, die jüngeren Pro-

banden haben einen höheren Anstieg der Pulsfrequenz als die Älteren.

7. Die gemessenen Blutdruckwerte schwanken um ± 10 mm Hg systolisch und diastolisch, es ließen sich keine signifikanten Unterschiede ermitteln.

8. Der an der Wheatstoneschen Brücke eingestellte Grundwiderstand zeigte für beide Kollektive keine signifikanten Unterschiede, sowohl zwischen den Meßdaten innerhalb der Altersklassen, als auch zwischen gleichen Meßdaten zwischen den Altersklassen. Bestehende Veränderungen des Grundwiderstands in einzelnen Fällen wurden im Sinne von Querschnittsvergrößerung bei Widerstandsverkleinerung und als Querschnittsverkleinerung bei Widerstandserhöhung gedeutet.

9. Die Ergebnisse wurden diskutiert und mit bereits bekannten Befunden diskutiert.

1. ABRAMSON, D.J., LANDT, H. and BENJAMIN, J.E.
"Peripheral Vascular Response to Acute Anoxia"
Arch. intern. Med. 71, 1953

2. ASSMUSSEN, E. and CHIODI, H. (1947)
Amer. J. Phys. 132.426

3. BROEMSER "Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie
(1938), Verlag Thieme Leipzig

4. DIETRICH, S. und SCHWIEGK, H.
"Angina pectoris und Anoxie des Herzmuskels"
Zeitschrift f. Klin. Medizin 1933, 125.195

5. DOYLE, J.T., WILSON, J.S. and WARREN, J.
"The Pulmonary Vascular Responses to Short-Term
Hypoxia in Human Subjects"
Circulation Jan. 1952, 5, Nr. 1

6. DRIPPS, R.D. and COMROE, J.H. (1947)
American J. Physiol. 149, 277
(zit. nach A Textbook of Aviation Physiology ed. by
GILLIES 1965)

7. FOCHEM, K. und PÄRTAN, J.
"Zur Problematik der Arteriographie der unteren Extremitäten" (Vergleichende Untersuchungen mit der Rheographie)
Fortschr. Röntgenstr. 104 (1966) 2, 164-170

8. FRITTS, H.W., HARRIS, P., CLAUS, R.H., ODELL, J.E. and COURNAND, A.
"The Effects of Acetylcholine on the Human Pulmonary Circulation Under Normal and Hypoxic Conditions."
J. Clin. Invest. 37,99, 1958

9. GILLIES, J.A. "A Textbook of Aviation Physiology"
Pergamon Press 1965

10. GROLLMANN (American J. Physiol. 93, 19 (1930)
zit. nach Herbst Luftfahrtmed. Abhandl. Band II, 1938)

11. HERBST, R. und MANIGOLD, K.
"Das Verhalten von Kreislauf und Atmung bei Sauerstoffmangel" Z. Arbeitsphysiologie 9, 166 (1936)

12. HERBST: Über Anpassungsvorgänge des menschlichen Körpers an Sauerstoffmangel
Luftfahrtmed. Abhandlung Leipzig, Band I, 1936/37

13. HERBST: Schlag- und Minutenvolumen des Herzens in großen Höhen
Luftfahrtmed. Abhandlungen Leipzig, Band II, 1938

14. HOLZER, POLZER, MARKO
"Rheokardiographie - ein Verfahren der Kreislaufforschung und Kreislaufdiagnostik"
Bücherei der phys. Medizin, Band I, 1946

15. JANTSCH, H. Wien. med. Wochenschr. 108, 1004 (1958)
"Zur Auswertung des peripheren Rheogramms"

16. KAINDL, POLZER, SCHUHFRIED
"Die Amplitudenauswertung des Rheogramms"
Wiener Zeitschrift f. Innere Medizin, Heft 5, 40 (1959)

17. KAINDL, POLZER, SCHUHFRIED
"Rheographie", Kreislaufbücherei, Band 18 (1959) u.(1967)

18. KAINDL, POLZER, SCHUHFRIED
"Rheographie mit Kompression"
Zeitschrift für Kreislaufforschung Band 50/1961
K.P. Schuhfried "Rheographie", Darmstadt 1967

19. KIRCHHOFF, BURKHART
"Kombinierte Untersuchungen von Kreislauf und Atmung bei differenziertem Sauerstoffmangel"
Ärztliche Forschung 19, 10 (1965)

20. KIRCHHOFF und BURKHART
Kombinierte Untersuchung von Kreislauf und Atmung bei differenziertem Sauerstoffmangel
Ärztliche Forschung XX. Jg. Heft 2, 76-85, 1966

21. KIRCHHOFF: Kreislauf und akuter Sauerstoffmangel
Zeitschrift für ärztliche Fortbildung, 56. Jg. Heft 6

22. Eb. KOCH: Das Verhalten des Kreislaufs in großen Höhen, Luftfahrtmed. Abhandlungen Leipzig, Band I, 1936/37

23. KOECKE, K. "Die Leberrheographie, eine Erweiterung der Leberdiagnostik"
Die Medizinische 1. Halbjahr 1957

24. LEPESCHKIN "Das Elektrokardiogramm von F.P.N. SCHENETTEN,
Verlag Steinkopff Dresden und Leipzig 1957

25. LENKNER "Zur Diagnose des Subduralhämatoms mittels Rheoenzephalographie"
Klinische Medizin Heft 11, 14. Jg. (1959)

26. LEVY, R.L., BARACH, A.L. und BRUENN, H.G.
American Heart J. 15.187 (1938)
(zit. nach "Das Elektrokardiogramm" von E.LEPESCHKIN, herausgegeben von F.P.N. SCHENETTEN 1957)

27. MATTHES "Herz und Kreislauf bei atmosphärischen Unterdruck und Überdruck"
Handbuch der Inneren Medizin, Springer-Verlag 1960

28. RANKE, O.F. "Das Verhalten der Vasomotoren und des Herzens im Unterdruck, Luftfahrtmed. 1, 120 (1936)

29. REIN: Das Verhalten des Kreislaufs in großen Höhen
Luftfahrtmed. Abhandlungen Band II, 1938, Leipzig

30. RUFF-STRUGHOLD "Grundriß der Luftfahrtmedizin,
Barth-Verlag, Leipzig 1939

31. RUFF-STRUGHOLD "Grundriß der Luftfahrtmedizin"
Barth-Verlag München 1957

32. SANDS und DE GRAFF (zit. nach Herbst Luftfahrtmed. Abhandlungen, Band II, 1938, Leipzig

33. SCHWARZ "Der Einfluß des Alters auf die Widerstandsfähigkeit gegen Sauerstoffmangel"
Luftfahrtmedizin 1, 39 (1937)

34. STRUGHOLD "Zur Frage der Höhenumstellung"
Die Med. Welt Nr. 49, 1937

35. STRUGHOLD: Das Herz bei Sauerstoffmangel unter kontrollierten Kreislaufbedingungen
Luftfahrtmedizin. Abhandlungen Leipzig II, 36, 1938

36. STRUGHOLD: Das Herz bei Sauerstoffmangel unter kontrollierten Kreislaufbedingungen
Luftfahrtmed. Abhandlungen, Band II, 1938, Leipzig

37. TAVEL "Die Auswirkungen des Sauerstoffmangels auf den menschlichen Organismus bei kurzfristigem Aufenthalt in großer Höhe"
Schwabe & Co., Basel 1943.

L e b e n s l a u f

Am 16. 4. 1936 wurde ich, Maria Müller in Leipzig als erstes Kind des Speditionskaufmannes Hubert Müller und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Reinhardt, geboren. Ich besuchte die Volksschulen in Leipzig, Stolpmünde/ Pommern und Börln/Sachsen und die Oberschulen in Leipzig, Berlin, Cham und München.
1956 bestand ich im Realgymnasium der Armen Schulschwestern am Anger das Abitur. 1957 begann ich an der Ludwig-Maximilians-Universität das Studium der Medizin, hier bestand ich 1960 das Physikum und 1963 das Staatsexamen. 1966 erhielt ich die Approbation als Ärztin. Seit September 1966 befinde ich mich in der Facharztausbildung für Innere Medizin im Flugmedizinischen Institut der Luftwaffe in Fürstenfeldbruck.